

Opinnäytetyö (AMK)

Bio ja elintarviketekniikan koulutusohjelma

Elintarviketekniikka

2010

Janne-Matti Holm

# OHUTFILMIHAIHDUTTIMEN KÄYTTÖÖNOTTO:

– testiajot malliliuoksella, teknisten tietojen  
kartoitus sekä kapasiteetin mittaaminen



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU  
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Bio- ja elintarviketekniikka | Elintarviketekniikka

Joulukuu 2010 | Sivumäärä 50

Mika Jokinen, yliopettaja, tekniikan tri, dos.

Janne-Matti Holm

# OHUTFILMIHAIHDUTTIMEN KÄYTTÖÖNOTTO: testiajot malliliuoksella, teknisten tietojen kartoitus sekä kapasiteetin mittaaminen

Tämän työn tarkoituksena on Turun ammattikorkeakoulun Lemminkäisenkadun yksikössä sijaitsevan ohutfilmihaihduttimen käyttöönottoon liittyvien asioiden selvittäminen. Tähän opinnäytetyöhön kuuluu teknisten tietojen kartoitus, malliliuoksen testiajot sekä kapasiteetin mittaaminen. Opinnäytetyön tavoitteena on ohutfilmihaihduttimen käyttökunnon ja keskeisten teknisten tietojen selvittäminen sekä laitteiston kapasiteetin testaaminen. Selvityksen jälkeen tavoitteena on laitteen käyttö opetustyössä ja palvelun tarjoaminen asiakashankkeille.

Haihdutus on yksikköoperaatio, jossa haihtuva liuotin poistetaan höyrynä haihtumattomasta lämpöä ja/tai paineenalennusta käyttämällä. Ohutfilmihaihduttimessa tuote haihtuu erittäin tehokkaasti, joka mahdollistaa hyvin lämpöherkkien, korkeaviskositeettisten sekä herkästi hajoavien tuotteiden haihdutuksen.

Ohutfilmihaihduttimella voi konsentroida maitoa laitteiston mahdollistaman matalan lämpötilan takia. Tästä johtuen maidon proteiinit eivät denaturoidu ja tuloksena syntyy vahingoittumatonta konsentroitua maitoa. Turun AMK:lla sijaitseva ohutfilmihaihdutin koostuu monista eri laitteista, joilla on toisistaan poikkeavia käyttötarkoituksia. Siispä onkin tärkeää erottaa toisistaan tuotteen kulkureitti, öljylämmityskierto ja haihdutuslaitteiston pesun kulkureitti kaikkine laitteineen. Ohutfilmihaihduttimen kapasiteetin mittaamiseen käytettiin 10 % sakkaroosiliuosta. Sakkaroosi kestää huomattavasti korkeampaa lämpötilaa maitoon verrattuna, jolloin kapasiteettia on helpompi ja parempi mitata sen avulla.

Turun ammattikorkeakoulun Lemminkäisenkadun ohutfilmihaihdutin täyttää haihduttimelle tärkeät kriteerit. Laitteisto soveltuu hyvin opetustyöhön, koska se toimii luotettavasti. Lisäksi sillä voi osoitettavasti konsentroida. Laitteisto soveltuu myös palvelujen tarjoamiseen yrityksille.

ASIASANAT: Erotusmenetelmät, Haihdutus, Ohutkalvot, Ohutfilmihaihdutin

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Biotechnology and Food Technology | Food Technology

December 2010 | Total number of pages 50

Mika Jokinen, Principal lecturer, Doctor of Technology

Janne-Matti Holm

## COMMISSIONINGS OF THIN FILM EVAPORATOR: test run of test solutions, technical data and capacity measurement

The purpose of this study was to solve issues that play an important role in using a thin film evaporator. The thin film evaporator is situated at the Faculty of Life Sciences and Business in Turku University of Applied Sciences. The study set out was to compile the technical data of the equipment, to measure the real capacity of the equipment and to test run the test solutions. The aim was to get information about the working condition of the thin film evaporator, acquire the central technical data and determine the real capacity of the equipment. Further aims were to consider the suitability of the evaporator for teaching and also its possible use in serving clients.

Evaporation is a unit process in which the solvent is extracted from the non-volatiles in vapour form by using heat and/or reduced operating pressure. The product evaporates efficiently in the thin film evaporator which makes it possible to evaporate difficult products such as heat sensitive solutions, products of high viscosity, as well as products that degrade easily.

Due to the low operating temperature of the equipment it is possible to concentrate milk with the thin film evaporator, whereby the denaturation of milk proteins can be avoided. As a result of this, unharmed concentrated milk of high quality can be produced with the equipment. The thin film evaporator at the Faculty of Life Sciences and Business is composed of many different parts and instruments with different purposes of use. Therefore it is vital to separate the product's process route, the oil heating circulation and the cleaning in place (CIP) system from each other. In order to measure the capacity of the thin film evaporator a 10% saccharose solution was prepared. Compared to milk, a saccharose solution endures considerably higher temperatures which makes it more suitable for capacity measurement.

The thin film evaporator at the Faculty of Life Sciences and Business meets the important criteria for an evaporator. Because the thin film evaporator operates reliably, the equipment is suitable for teaching. The thin film evaporator can also be used in serving clients.

**KEYWORDS:** Separation methods, Evaporation, Thin Film, Thin Film Evaporator

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2 HAIHTUMINEN JA HAIHDUTUS</b>	<b>1</b>
2.1 Haihtuminen luonnossa	1
2.2 Haihdutus teollisuudessa	4
2.3 Haihduttimien keskeiset rakenteet	5
2.3.1 Lämmönsiirtopinnat	5
2.3.2 Alipaineen muodostaminen	6
<b>3 ELINTARVIKKEIDEN KONSENTROINTIMENETELMIÄ</b>	<b>7</b>
<b>4 ELINTARVIKETEOLLISUUDEN KÄYTTÄMIÄ HAIHDUTUSLAITTEITA</b>	<b>10</b>
4.1 Pystykuumennuskammiot	10
4.2 Pitkäputkihaiduttimet (nousevat ja putoavat)	11
4.3 Pakkokiertohaiduttimet	12
4.4 Ohutfilmihaidduttimet	13
4.5 Levyhaidduttimet	14
4.6 Centri- Therm- tyyppiset haidduttimet	14
4.7 Monivaihdahaiddutus	15
<b>5 OHUTFILMIHAIDUTIN RATKAISUNA HAASTAVIEN TUOTTEIDEN HAIHDUTTAMISESSA</b>	<b>16</b>
5.1 Ohutfilmihaidduttimen toimintaperiaate	16
5.2 Tavallisimmat haastavien tuotteiden haidduttamiseen liittyvät ongelmat	20
5.3 Ohutfilmihaidduttimen käytön sovellukset	20
5.3.1 Lämpöherkät orgaaniset kemikaalit	20
5.3.2 Elintarvikkeiden ja lääkeaineiden konsentroiminen	21
5.3.3 Vaikeasti haiddutettavat korkeaviskositeettiset tuotteet	22
5.4 Elintarvikkeiden haiddutuksessa huomioon otettavia asioita	22
<b>6 KONSENTROIDUT MAITOTUOTTEET SEKÄ KONSENTROINTITEKNIIKAT</b>	<b>23</b>
6.1 Maito	23
6.2 Maidon konsentroiditeknikat	25
6.2.1 Haiddutus	25
6.2.2 Käänteisosmoosi ja ultrafiltraatio	26
6.2.3 Kylmäkonsentroidi	27
6.3 Konsentroidut maitotuotteet	27
6.3.1 Konsentroidu maito	27
6.3.2 Maitotiiviste (condensed milk)	27
6.3.3 Haiddutettu maito (evaporated milk)	28



6.4 Konsentroimisen vaikutukset maitoon	29
<b>7 MAIDON HAIHDUTTAMINEN TURUN AMK:N OHUTFILMIHAIHDUTTIMELLA</b>	<b>30</b>
7.1 Turun AMK:n ohutfilmihaihduttimen toimintaan perehtyminen	31
7.2 Kuiva – ainepitoisuuden määrittäminen	31
7.3 Maidon haihduttaminen	32
7.4 Maidon peseminen pois ohutfilmihaihdutinlaitteistosta	34
<b>8 TEKNISTEN TIETOJEN KARTOITUS</b>	<b>34</b>
8.1.1 Tuotteen kulkureitti ja apulaitteet	37
8.1.2 Öljylämmityskierto	37
8.1.3 Laitteiston kiertopesun (CIP) kulkureitti ja apulaitteet	38
8.1.4 Ulkomitat	38
8.2 Kapasiteetin mittaaminen Turun AMK:n ohutfilmihaihduttimella	38
<b>9 TULOKSET</b>	<b>41</b>
9.1 Maidon haihduttaminen	41
9.2 Kapasiteetin selvittäminen	42
9.3 Tekniset tiedot	44
<b>10 TULOSTEN ARVIOINTI JA PÄÄTELMÄT</b>	<b>44</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>49</b>
 <b>KUVAT</b>	
Kuva 1. Veden kiertokulku luonnossa. (1)	3
Kuva 2. Veden haihtuminen ja kiehumisen. (2)	3
Kuva 3. Pystykuumennuskammio. (4)	11
Kuva 4. Putoava pitkäputkihahdutin. (7)	12
Kuva 5. Pakkokietohahdutin. (4)	13
Kuva 6. Levyhahdutin. (8)	14
Kuva 7. Kolmivaiheinen haihdutuslaitos. (5)	15
Kuva 8. Ohutfilmihaihduttimen haihdutuskolonne. (10)	17
Kuva 9. Ohutfilmihaihduttimen pyyhkijän toimintamekanismi. (9)	18
Kuva 10. Nestevirran kulku pystysuorassa ohutfilmihaihduttimessa. (9)	19
Kuva 11. Maidon koostumus. (12)	24
Kuva 12. Maitovalmisteita.	24
Kuva 13. Haihdutettu maito – tölkki. (15)	29
Kuva 14. Turun AMK:lla sijaitseva ohutfilmihaihdutinlaitteisto selitteineen.	35
Kuva 15. Turun AMK:lla sijaitseva ohutfilmihaihdutinlaitteiston öljylämmitys selitteineen.	36
Kuva 16. Haihdutuskolonnin pohjan putki.	48
 <b>KUVIOT</b>	
Kuvaaja 1. Veden kiehumispiste paineen ja lämpötilan funktiona. ....	7
Kuvaaja 2. Refraktioindeksi kuiva-ainepitoisuuden funktiona. ....	42
Kuvaaja 3. Sokeriliuoksen kuiva-ainepitoisuus syöttönopeuden ja lämpötilan funktiona. ....	43

## TAULUKOT

Taulukko 1. Haihdutinratkaisun valintakriteerejä elintarviketeollisuudessa. (3).....	23
Taulukko 2. Lämpökäsittelyn vaikutukset maidon proteiineihin. (14).....	26
Taulukko 3. Toisessa haihdutuksessa käytetyt parametrit. ....	33
Taulukko 4. Kolmannessa haihdutuksessa käytetyt parametrit. ....	34
Taulukko 5. Ensimmäisessä haihdutuksessa käytetyt parametrit.....	40
Taulukko 6. Toisessa haihdutuksessa käytetyt parametrit. ....	40
Taulukko 7. Toisen haihdutuksen punnitustulokset.....	41
Taulukko 8. Toisen haihdutuksen tulokset refraktometrilla.....	41
Taulukko 9. Kolmannen haihdutuksen punnitustulokset.....	41
Taulukko 10. Kolmannen haihdutuksen tulokset refraktometrilla.....	41
Taulukko 11. Ensimmäisen haihdutuksen punnitustulokset. ....	42
Taulukko 12. Toisen haihdutuksen punnitustulokset (näytteet 0–3). ....	42
Taulukko 13. Toisen haihdutuksen punnitustulokset (näytteet 4-6). ....	43

# 1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö on tehty Turun ammattikorkeakoulun Lemminkäisenkadun yksikössä (Bioalat ja liiketalous -tulosalue). Työn tarkoituksena on Lemminkäisenkadun yksikössä sijaitsevan ohutfilmihaihduttimen käyttöönottoon liittyvien asioiden selvittäminen. Ohutfilmihaihduttimen suunnittelu, hankinta ja kokoonpano on ollut Turun ammattikorkeakoulun pitkään jatkunut oma projekti, joka on nyt edennyt käyttöönottovaiheeseen. Kyseessä on tietävästi myös Suomen ainoa ohutfilmihaihdutin, joten laitteiston käyttöönotolla on opetuksen lisäksi merkitystä myös yritys yhteistyön kannalta.

Ohutfilmihaihduttimen käyttöönottoon kuuluu teknisten tietojen kartoitus, kapasiteetin mittaaminen, malliliuoksien testiajot sekä käyttöohjeiden tekeminen. Tämä tavoite on jaettu kahteen opinnäytetyöhön. Tähän opinnäytetyöhön kuuluu teknisten tietojen kartoitus, malliliuoksien testiajot sekä kapasiteetin mittaaminen. Tämän opinnäytetyön tavoitteena on saada tietoa ohutfilmihaihduttimen käyttökunnosta, keskeisistä teknisistä tiedoista, todellisesta laitteiston kapasiteetista sekä sen käytön soveltuvuudesta ja mahdollisuuksista opetustyössä ja palvelun tarjoamisessa asiakasyrityksille.

Ohutfilmihaihduttimen käyttöönoton kannalta tärkeitä parametreja selvitettiin kahden malliliuoksen, maidon ja sakkaroosiliuoksen koeajoilla. Maito toimi esimerkkinä elintarviketeollisuudessa yleisistä lämpöherkistä aineista ja sakkaroosiliuosta käytettiin kapasiteetin mittauksissa.

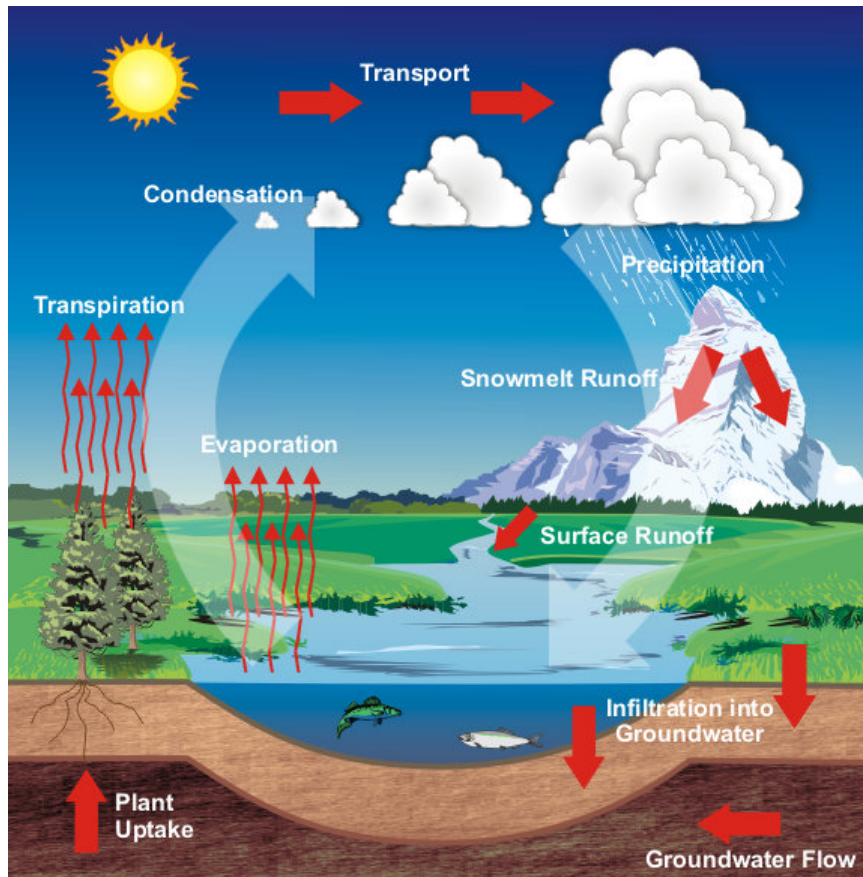
## 2 Haihtuminen ja haihdutus

### 2.1 Haihtuminen luonnossa

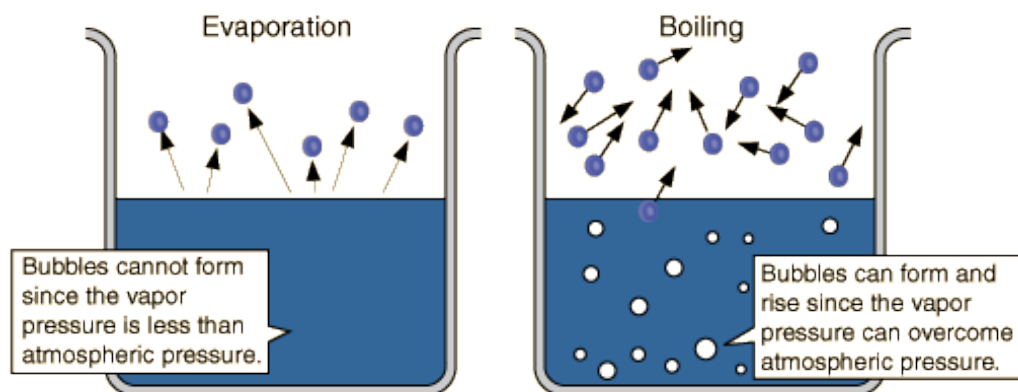
Haihtuminen on aineen olomuodon muutos, jossa aine muuttuu nestemäisestä faasista kaasufaasiksi. Maapallolla tärkein aine on vesi. Haihtuminen vaatii

energiaa, jota saa auringon säteistä, sekä ilmakehän ja maan kautta tapahtuvasta johtumisesta. Kun ilmakehä luovuttaa energiaa, ilmakehä jäähtyy. Samalla tavalla tapahtuu myös merivedelle, kun vettä haihtuu siitä pois, jolloin haihtuminen on myös lämpöä luovuttava tapahtuma. Kuvassa 1 on esitetty veden kiertokulun luonnossa (hydrologinen kierto). Haihtuminen on ilmaston kannalta tärkeää, koska sen avulla vesihöyry pääsee ilmakehään, jolloin vesihöyryn tiivistyttyä muodostuu pilviä ja veden kiertokulku kokonaisuudessaan on mahdollista luonnossa. (1)

Tavallisesti veden haihtuminen tapahtuu vain pinnalta, jolloin vain joillakin vesimolekyyleillä on tarpeeksi kineettistä energiaa haihtua. Jos vettä pitää suljetussa astiassa, saavutetaan tasapaino pinnalta lähtevien ja pinnalle palaavien vesimolekyylien välillä. Tasapainosta johtuvaa painetta kutsutaan vesihöyryn kyllästymispaineeksi. Kiehumisen eroaa pinnalta tapahtuvasta haihtumisesta siten, että veden kiehuessa veden kyllästynyt höyrynpaine on sama ympäristön paineen kanssa. Tällöin muodostuu kuplia ja haihtumista tapahtuu kaikkialta. Veden haihtumista pinnalta ja kiehumista on esitetty kuvassa 2. (2)



Kuva 1. Veden kiertokulku luonnossa. (1)



Kuva 2. Veden haihtuminen ja kiehuminen. (2)

## 2.2 Haihdutus teollisuudessa

Teollisissa prosesseissa haihdutus on yksikköoperaatio, jossa haihtuva aine (liuotin) poistetaan höyrynä haihtumattomasta lämpöä ja/tai paineenalennusta käyttämällä. Tällöin tapahtuu samanaikaisesti sekä lämmön- että aineensiirtoa. Haihdutuksessa yleensä väkevöity liuos tai kiinteä aine on lopputuote. Joskus myös haihdutettu liuotin on lopputuote, esimerkiksi meriveden haihdutuksessa vesi. Myös jäteveden puhdistuksessa käytetään haihdutusta hyväksi.

Haihdutus on ollut käytössä teollisuudessa jo satoja vuosia. Yksinkertaisimmat haihduttimet olivat avonaisia kattiloita, joita lämmitettiin esimerkiksi puulla tai hiilellä. Tällöin ei höyryä lauhdutettu lainkaan. Sokerin kiteytys ruokomehusta 1800-luvulla on hyvä esimerkki tästä. Prosessi oli erittäin energiaa kuluttavaa, koska yhden litran haihduttamiseen tarvittiin jopa 1 kW lämpöenergiaa. Haihdutusteknologian kehityksessä energiantarpeen vähentäminen on ollutkin tärkeää. (3)

Haihduttimen investointikustannus on yleensä korkea, joka johtuu pääosin siitä, että lämmönsiirtopintana joudutaan käyttämään kalliita materiaaleja korroosion hallitsemiseksi. (3)

Prosessi- ja elintarviketeollisuudessa haihduttimien pääasiallinen käyttötarkoitus on:

- liuoksen väkevöinti, jotta jatkoprosessointi esimerkiksi kuivaamalla tai kiteyttämällä on mahdollinen ja taloudellinen
- säilyvyyden parantaminen
- tilantarpeen ja painon vähentäminen (varastointi- ja kuljetuskustannukset)
- saattaminen loppukäyttäjälle sopivaan muotoon
- jätevesien käsittely (veden kierrättäminen takaisin prosessiin ja kiintoaineen talteenotto) (3)

### 2.3 Haihduttimien keskeiset rakenteet

Kaikilla haihdutintyypeillä on samoja rakenteellisia komponentteja. Pääkomponentti on haihdutuskolonne, jolla tehokas nesteen haihtuminen voidaan toteuttaa. Haihdutuskolonne sisältää jonkinlaisen lämmönsiirtopinnan, jonka läpi lämpöenergia siirtyy kuumennusväliaineesta haihdutettavaan liuokseen. Kuumennusväliaineena on perinteisesti käytetty höyryä, mutta myös muitakin, kuten esimerkiksi lämmönsiirtoon tarkoitettua öljyä.

Usein haihdutettava neste esilämmitetään haihdutuksessa käytettävään lämpötilaan ennen sen joutumista lämmönvaihtimen pinnalle. Tarvitaan myös jokin keino, jolla muodostunut höyry ja konsentroitunut tuote voidaan erottaa. Lämmityksessä käytettyä höyryä voidaan ottaa talteen ja käyttää uudestaan esimerkiksi seuraavassa haihdutusvaiheessa monivaihehaihdutuksessa. Lauhdutin jäähdyttää haihtuneen höyryn, jolloin höyry tiivistyy nestevirraksi. (4)

Yleisesti ottaen haihdutuksen tehokkuuteen vaikuttaa kuumennukseen käytettävä väliaine (eri lämmönsiirtokertoimet eri aineilla), haihdutettavan liuoksen ominaisuudet, kuten kiehumispiste ja likaantuminen sekä haihdutuskolonnin lämmönsiirtopinta-ala ja geometria.

#### 2.3.1 Lämmönsiirtopinnat

Yksi keskeisimpiä tehtäviä jo haihduttimien suunnitteluvaiheessa on lämpöpintojen mitoitus. Lämpöpinnat on mitoittettava riittävän suuriksi, jotta haluttu loppukuiva-ainepitoisuus saavutetaan. Toisaalta lämpöpintoja ei tulisi ylittää investointikustannusten kasvun välttämiseksi. Kun haihdutusteho (lämpövirta, SI- yksikkö W) tiedetään, voidaan lämpöpinnat laskea seuraavalla yhtälöllä: (3)

$$\Phi = k \cdot A \cdot \Delta T$$

missä  $\Phi$  on haihdutusteho (lämpövirta),  $k$  lämmönläpäisykerroin,  $A$  haihduttimen pinta-ala,  $\Delta T$  fluidien välinen lämpötilaero. (3)

Yhtälöstä pystyy päättämään, että jos samanlaisen haihdutintyyppin lämmönsiirtopinta-alaa kasvatetaan kymmenkertaiseksi, tulee tällöin lämpövirrasta myös kymmenkertainen. Tässä tapauksessa myös haihdutettavan aineen määrää (kapasiteettia) pystytään kasvattamaan kymmenkertaiseksi. Haihduttamisen teho laskee huomattavasti, jos lämmönsiirtopinnat pääsevät likaantumaan.

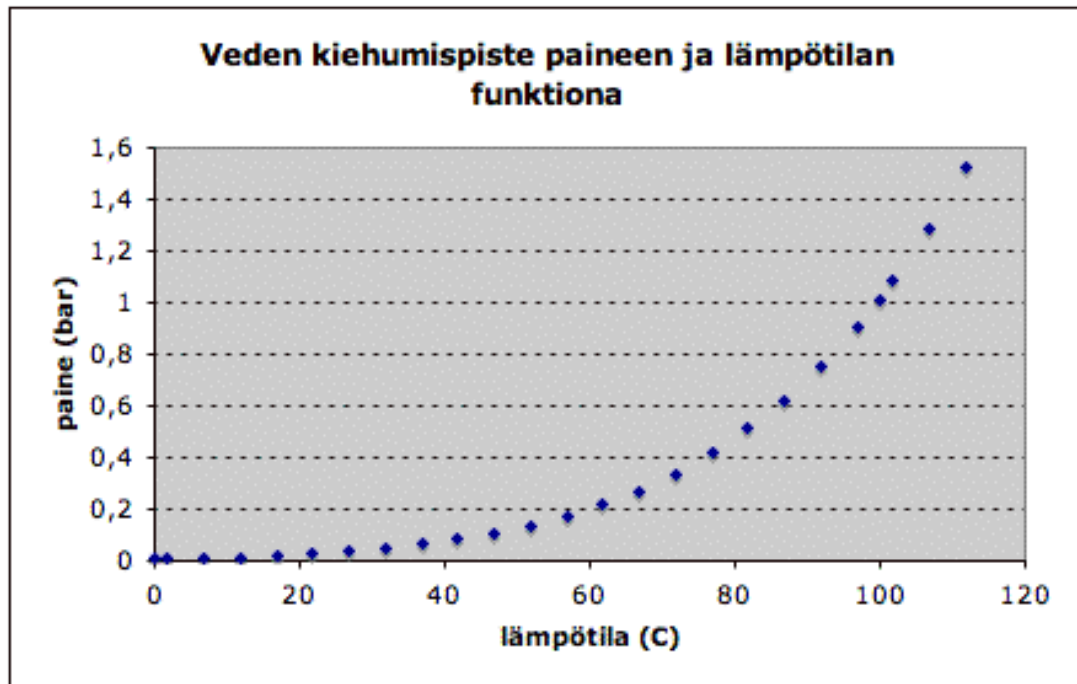
### 2.3.2 Alipaineen muodostaminen

Yksi haihduttimen toiminnan keskeisimpiä edellytyksiä on riittävän alipaineen muodostaminen, jotta liuos kiehuu käytetyn lämmönlähteen avulla. Alipaineen muodostamiseen on tarjolla paljon tekniikaltaan erilaisia laitteita. Tavallisesti alipaineen muodostaminen tapahtuu ejektorin tai mekaanisten pumppujen avulla. (3)

Ejektoreissa ei ole liikkuvia osia ja alipaineen aikaansaanti perustuu kaasun virtausnopeuden kasvattamiseen ja siitä aiheutuvaan paineen alenemiseen. Mekaanisissa pumpuissa pakotin sijaitsee epäkeskeisesti pumpun vaippaan nähden, jonka johdosta siipien syvyys vaihtelee pumpun pyöriessä. Tämän seurauksena siipien välinen tilavuus vaihtelee eri pyörimiskohdissa. Kun tilavuus kasvaa, muodostuu pakotinkammioon alipaine, ja pumppu imee kaasua kohteesta, jonne alipaine halutaan saada aikaan. Kun tilavuus alkaa pienentyä, alkaa kaasua puristua, jonka seurauksena se siirtyy pumpun poistokanavaan. (3)

Nesteen kiehumispiste haihduttimessa riippuu haihdutettavasta nesteestä, sen konsentraatiosta ja haihduttimessa vallitsevasta paineesta (5). Alipaineen johdosta haihdutuslämpötilaa voi ratkaisevasti alentaa, koska nesteen kiehumispiste laskee alipaineen vaikutuksesta. Jos esimerkiksi normaalista ilmanpaineesta (101 kPa) paine pudotetaan 3 kPa:iin, on uusi kiehumispiste vedellä enää noin 9 °C, ks. kuvaaja 1.





Kuvaaja 1. Veden kiehumispiste paineen ja lämpötilan funktiona.

### 3 Elintarvikkeiden konsentrointimenetelmiä

Monissa prosesseissa nestemäisten ruokien konsentroidi (väkevöinti) on tärkeää. Konsentroiminen eroaa kuivauksesta siten, että lopputuotteen vesipitoisuus ja koostumus on erilaiset. Yleisesti ottaen konsentroidut elintarvikkeet pysyvät nestemäisinä, mutta elintarvikkeiden kuivaus tuottaa kiinteitä tuotteita, joilla on paljon pienempi vesipitoisuus. (4)

Nestemäisiä elintarvikkeita konsentroidaan usein säilyvyyden parantamiseksi tai tuotteen arvon nostamiseksi. Konsentroimisen seurauksena myös kuljetuskustannukset pienenevät, jolloin valmiin tuotteen saa lisäämällä vettä konsentroituihin valmisteeseen. (4)

Nestemäisten ruokien konsentroimiseen on olemassa monia eri tekniikoita. Yleisimmin käytetyt menetelmät ovat haihdutus ja membraanisuojaus. Myös kylmäkonsentroidi on mahdollinen konsentroidimenetelmä tietyille ruoka-aineille. (4)

Haihdutuksen konsentroidintikyky perustuu veden poistamiseen kiehumalla, jolloin jäljelle jää konsentroiditu tuote. Haihdutus on hyvin yleinen konsentroidintimenetelmä. Tavallisimpia haihdutettavia ruoka-aineita ovat hedelmä- ja kasvismehut (appelsiini- ja sitruunamehutiivisteet ja tomaattipyreet) ja meijerituotteet (maitotiivisteet). (4)

Membraanisuodatukselle on myös paljon eri käyttökohteita elintarvikeprosesseissa (4). Membraanit (kalvot) jaetaan huokoskoon mukaan mikrosuodatukseseen, ultrasuodatukseseen, nanosuodatukseseen ja käänteisosmoosiin. Prosessin pääperiaate on membraani, jonka läpi liuos suodatetaan korkeaa painetta käyttämällä (3). Membraanisuodatuksen konsentroidintikyky perustuu erikokoisten molekyylien tai partikkelien läpäisyyn kalvon huokosista (4). Kalvon läpi suodatettu vesi nimitetään permeaatiksi, ja toiselle puolelle jäänyttä konsentroiditunutta liuosta retentaatiksi (3).

Membraanisuodatusta käytetään esimerkiksi meijeriteollisuudessa, jossa vesi ja muut pienet molekyylit erotetaan maitoproteiineista. Membraanisuodatus vastaa hyvin hygienian asettamiin vaatimuksiin meijeriteollisuudessa. Membraanisuodatusta, erityisesti ultrasuodatusta on käytetty Feta-juuston valmistuksessa ja juustomaidon proteiinipitoisuuden vakioinnissa. Membraaniteknologian muita käyttöalueita ovat esimerkiksi demineralisointi, maidon komponenttien erottaminen, tuotejämiä sisältävien toisiovesien ja huuhteiden puhdistus. Lisäksi tuotehävikkien määrää on pystytty vähentämään membraanisuodatuksen avulla erottamalla juustopöly, rasva ja kaseiini herasta. (6)

Meijeriteollisuuden lisäksi muita membraanisuodatuksen sovelluksia ovat hedelmämehut, makuaineet ja nestesokerit. (4)

Kylmäkonsentroidinnissa (lyofilisoinnissa) vesi osittain jäädytetään, jolloin jää muodostaa jääkidelietteen konsentroidussa tuotteessa. Jääkiteiden erottamisessa käytetään lämpötila-alipaine-yhdistelmää, jonka johdosta jääkiteet sublimoituvat. Näin ollen itse tuote pysyy vahingoittumattomana.

Kylmäkonsentroidi on mahdollista hedelmämehuille, kahville ja teelle, sekä oluelle ja viinille.(4)

### **Haihdutus verrattuna muihin menetelmiin**

Liuenneiden suolojen ja pienmolekulaarisen aineksen erottamiseen tai talteenottamiseen vedestä tai liuosten väkevöintiin eli vedenpoistoon on olemassa vain kaksi käyttökelpoista menetelmää, haihdutus ja membraanisuodatus. Membraanisuodatuksessa käytetty menetelmä määrää veden laadun. Ultrasuodatuksella voidaan lähes täydellisesti erottaa kaikki liukenematon kiintoaines kolloidaalisia aineita mukaan lukien, mutta suolojen ja sokereiden erotus on olematon. Nanosuodatuksen erotusaste on parempi, mutta tässäkin yksiarvoiset suolat (erityisesti kloridit) jäävät erottumatta. Vasta käänteisosmoosi tuottaa riittävän hyvän tuloksen, tosin veden laatu ei tässäkään täysin vastaa haihdutusta. Suolojen erotusaste on tässä tyypillisesti 96 – 99 %. (3)

Kaikkien kalvosuodatusmenetelmien suurin haaste on kalvojen likaantumisen hallinta. Käänteisosmoosin esikäsittelylaitteena käytetään normaalisti mikro- ja ultrasuodatinta, jolloin prosessista helposti tulee monimutkainen. Käänteisosmoosin toimintaa määrää osmoottinen paine, joka täytyy ylittää kaikissa tilanteissa. Suurimmat paineet ovat 60 – 100 bar. Natriumkloridin ollessa kysymyksessä kuiva-aineen yläraja on n. 8 %. Kalvojen ikääntymisen myötä vuodot lisääntyvät, jonka seurauksena retentaatti vuotaa puhtaan veden eli permeaatin joukkoon. Käytännössä vuot ja veden laatu muuttuvat jatkuvasti, jolloin tasaisen kapasiteetin ja laadun ylläpito on vaikeaa. (3)

Membraanien etuna on alhainen energian käyttö. Ultra- ja nanosuodatuksen energian käyttö on alle 1 kWh/t vettä, kun käänteisosmoosissa tarvitaan sähköä korkeapainepumpuille noin 2 – 6 kWh/t vettä. Tämän johdosta membraanitekniikka on saavuttanut suuren suosion sekä teollisuudessa että juomaveden valmistuksessa merivedestä. (3)

Haihdutuksen keskeisimmät edut verrattuna käänteisosmoosiin on:

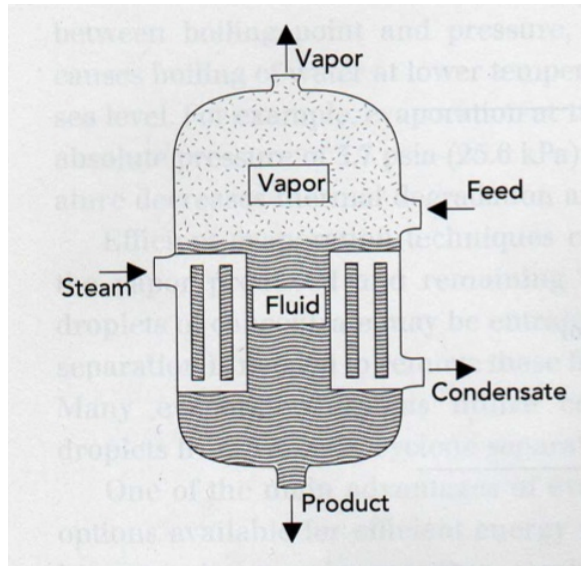
- Täysin suolaton vesi, joka yleensä kelpaa vaativimpaankin kohteeseen
- Ainoa toimiva vaihtoehto täysin suljetussa kierrossa
- Korkea puhtaan veden saanto
- Korkea loppukuiva-ainepitoisuus
- Tasainen kapasiteetti ja veden laatu
- Veden laatu ei vaihtelee (3)

## 4 Elintarviketeollisuuden käyttämiä haihdutuslaitteita

Elintarviketeollisuudessa käytetään monenlaisia haihduttimia. Haihdutintyyppin valinta tietylle prosessille riippuu monista tekijöistä. Lopputuotteen laatu ja tyyppi täytyy ottaa valinnassa huomioon, samoin myös taloudelliset tekijät, jolloin varmistutaan siitä, että valittu haihdutintyyppi on mahdollisimman kustannustehokas halutulle prosessille. (4)

### 4.1 Pystykuumennuskammiot

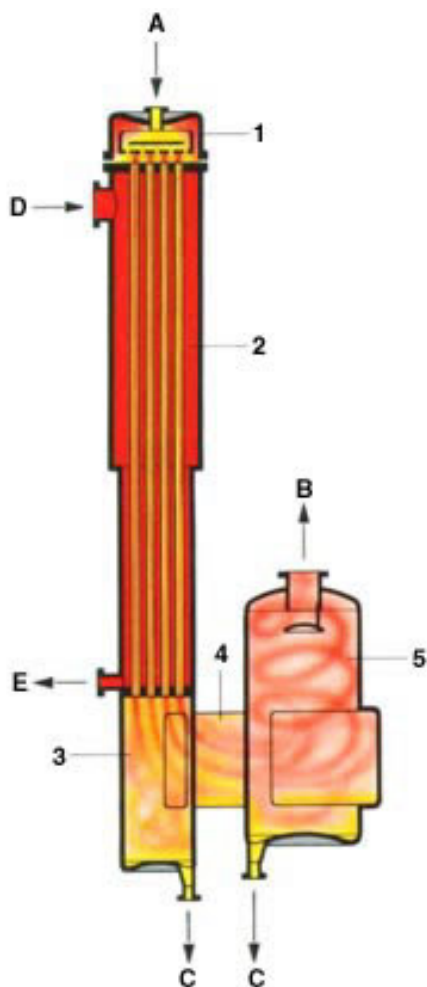
Pystykuumennuskammio (lyhytputkihaihdutin) on lyhyt ja leveä kammio, joka sisältää putkilämmönvaihtimia. Putkiin syötetään kuumaa höyryä samalla kun haihdutettava tuote virtaa kammiossa. Virtaus tapahtuu luonnollisen, lämpötilaeroista johtuvan, konvektion seurauksena. Näin lämpimämpi neste virtaa ylöspäin ja kylmempi alaspäin. Kammion ylemmässä osassa on höyrylle tilaa, jonka johdosta höyry voidaan erottaa konsentroituneesta nesteestä. Nestemäisten elintarvikkeiden haihduttamisessa voidaan käyttää alipainetta, jolloin kiehumispistettä saadaan laskettua. Tämä on enää harvemmin käytetty haihdutintyyppi elintarviketeollisuudessa haihdutettavien elintarvikkeiden liian suuren viipymisajan johdosta ko. haihduttimessa. Yleinen sovellus tälle haihdutintyyppille on ollut sokerijalostamolla sokerin kiteyttäminen. (4)



Kuva 3. Pystykuumennuskammio. (4)

#### 4.2 Pitkäputkihaiduttimet (nousevat ja putoavat)

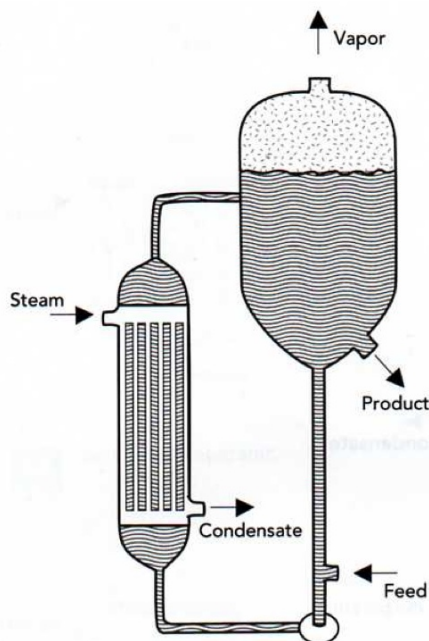
Pitkäputkihaiduttimet ovat tehokkaita laitteita, joissa neste virtaa putkea pitkin ohueksi kalvoksi lämmönvaihtopinnoille. Nouseva pitkäputkihaidutin soveltuu yleensä parhaiten korkeaviskoisille nesteille. Putoavat pitkäputkihaiduttimet sopivat hyvin lämpöherkille aineille. (4)



Kuva 4. Putoava pitkäputkihahdutin. (7)

#### 4.3 Pakkokiertohaihduuttimet

Tällä haihdutintyyppillä on ulkoinen haihdutuskammio ja erillinen päähaihdutinkammio. Nesteen syöttö tapahtuu pääkammiosta sivuhaihdutuskammioon, jossa varsinainen haihdutus tapahtuu. Siellä höyry ja konsentroitunut tuote erottuvat toisistaan. Tämä haihdutintyyppi soveltuu myös sellaisten nesteiden konsentroimiseen, joilla on korkea viskositeetti. Nesteiden pumpppauksen johdosta saadaan aikaan hyvä lämmönsiirto. Tässäkin haihdutintyyppissä nesteiden viipymisaika on suuri. Näin ollen se ei sovellu lämpöherkille elintarvikkeille, koska ne saattavat sakkautua laitteistoon. (4)



Kuva 5. Pakkokietohaihdutin. (4)

#### 4.4 Ohutfilmihaihduttimet

Ohutfilmihaihduttimet soveltuvat hyvin sellaisten nesteiden konsentroimiseen, joilla on korkea viskositeetti. Esimerkiksi paksut hedelmä -ja vihannespyreet tai sokerisiirapit voidaan konsentroida tehokkaasti ohutfilmihaihduttimella, jossa syötettävää nestettä pyyhitään jatkuvasti ohueksi filmiksi lämmönvaihtimen pinnalle. Tässä haihdutintyyppissä tuotteen läpimenoaika on pieni ja useimmiten ohutfilmihaihduttimet ovat myös alipaineistettuja, jolloin se soveltuu myös lämpöherkkien elintarvikkeiden haihduttamiseen. (4)

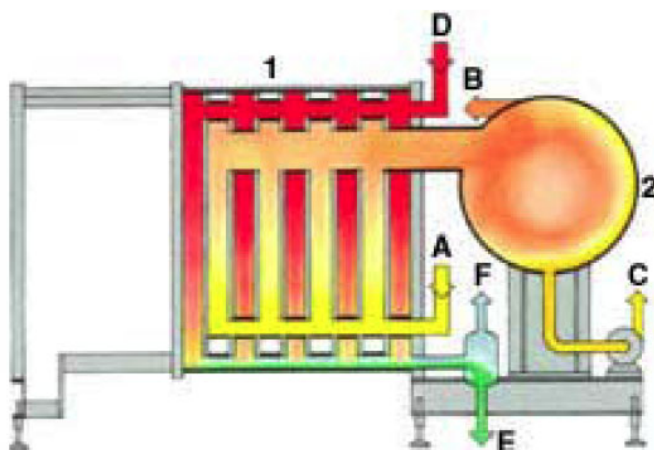
Ohutfilmihaihduttimessa nestekalvo syntyy siten, että pyörivät sekoittimen siivet/lavat/rullat sinkoavat syötetyn nesteen haihduttimen lämmönvaihtimen seinämää vasten. Samalla sekoitin estää roiskeiden leviämisen, hajottaa vaahtoa ja erottaa nestepisaroita haihtuneesta höyrystä. (4)

Ohut filmi, joka muodostuu ohutfilmihaihdutuksessa, ja ohut nestekalvo, joka syntyy esim. pitkäputkihaihduttimissa, eroavat muodostustavoiltaan siten, että ohutfilmihaihduttimessa ohuen nestekalvon saa aikaan mekaanisesti pyörivät telat, kun taas pitkäputkihaihduttimissa ohuen nestekalvon saa aikaan

virtausnopeus. Näin ollen virtausnopeudella voi vaikuttaa kalvon paksuuteen, kun taas mekaanisesti muodostettuna nestekalvon paksuus on aina vakio riippumatta nesteen virtausnopeudesta.

#### 4.5 Levyhaihduttimet

Levyhaihduttimissa on sarja metallilevyjä, jotka toimivat lämmönvaihtimina. Lämmönvaihtimet on erotettu toisistaan tiivisteillä, jotka samalla pakottavat nesteen kulkemaan kapeaa käytävää pitkin. Levyhaihduttimien etuja ovat helppous, erinomainen lämmönsiirto ja lyhyt tuotteen läpimenoaika. Tällä haihdutintyyppillä voi saavuttaa jopa 98 %:n kuiva-ainepitoisuuden sokeriliuoksille ja 50 – 60 %:n kuiva-ainepitoisuuden viskooseille vihannessoseille. (4)



Kuva 6. Levyhaihdutin. (8)

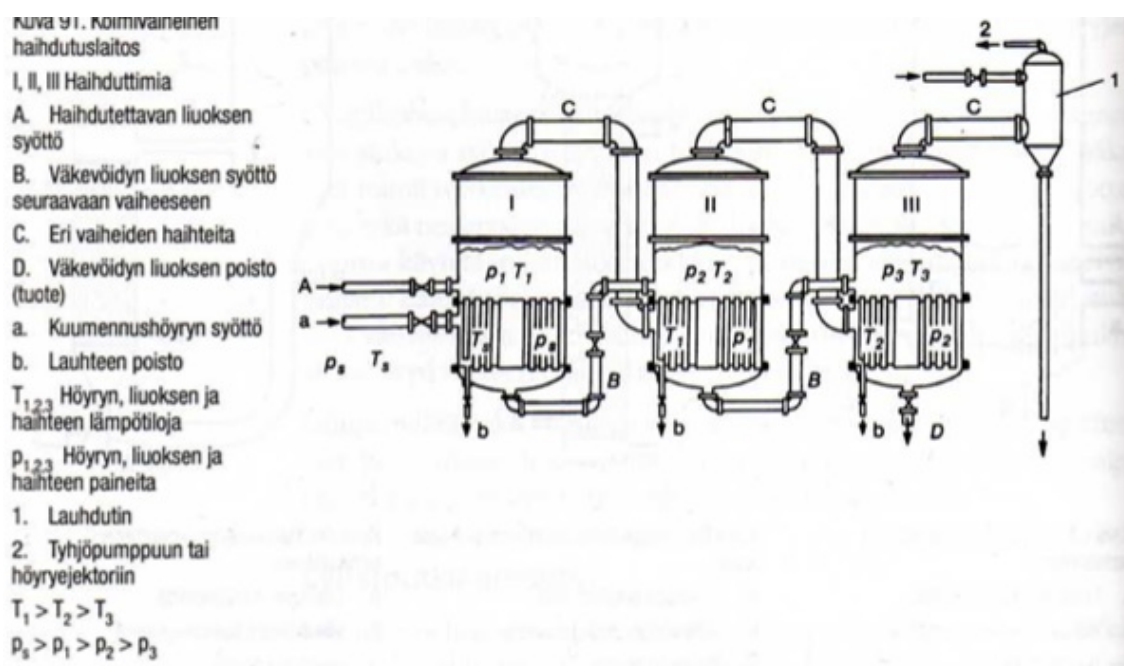
#### 4.6 Centri- Therm- tyyppiset haihduttimet

Tässä haihdutintyyppissä on useita pyöriviä, lämmitettyjä kartioita, joiden sisäpinnalle neste johdetaan. Neste muodostuu ohueksi nestevirraksi kartioiden sisäpinnoilla, jonka jälkeen ohut nestevirta kulkeutuu alaspäin ja vesi höyrystyy pois kartion keskeltä. Tällä haihdutintyyppillä saavutetaan myös alhaiset tuotteen läpimenoajat. (4)



#### 4.7 Monivaihdehaidutus

Haihduttimet toimivat usein jatkuvatoimisina. Poistuvan nesteen konsentraation nostamiseksi voidaan nestettä kierrättää tai kytkeä useita haihdutusyksiköitä sarjaan. Haihdutuksessa vaadittava lämpöenergia saadaan usein höyrystä, jonka tuottaminen on kallista. Tämän vuoksi käytetään menetelmiä, joissa haihduttimia kytketään sarjaan ja käytetään edellisestä haihdutusvaiheesta poistuvaa höyryä (haihdetta) seuraavan vaiheen kuumennushöyrynä. Tämä on mahdollista, jos jälkimmäinen haihdutin toimii alemmassa paineessa kuin edellinen. Näin liittämällä useita haihduttimia sarjaan prosessin taloudellisuus kasvaa. Kuvassa on esitetty kolmivaiheinen haihdutuslaitos. (5)



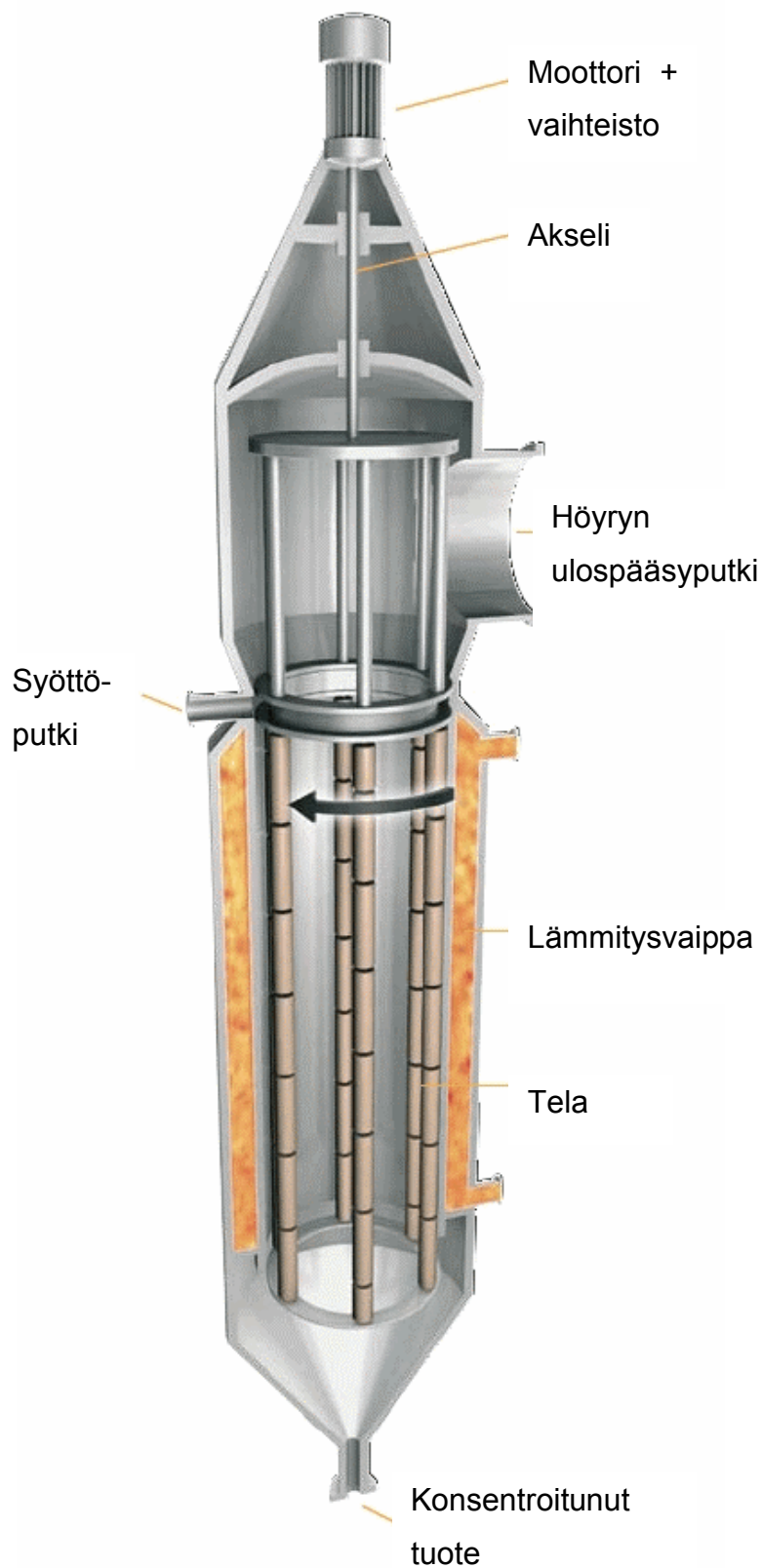
Kuva 7. Kolmivaiheinen haihdutuslaitos. (5)

## 5 Ohutfilmihaihdutin ratkaisuna haastavien tuotteiden haihduttamisessa

### 5.1 Ohutfilmihaihduttimen toimintaperiaate

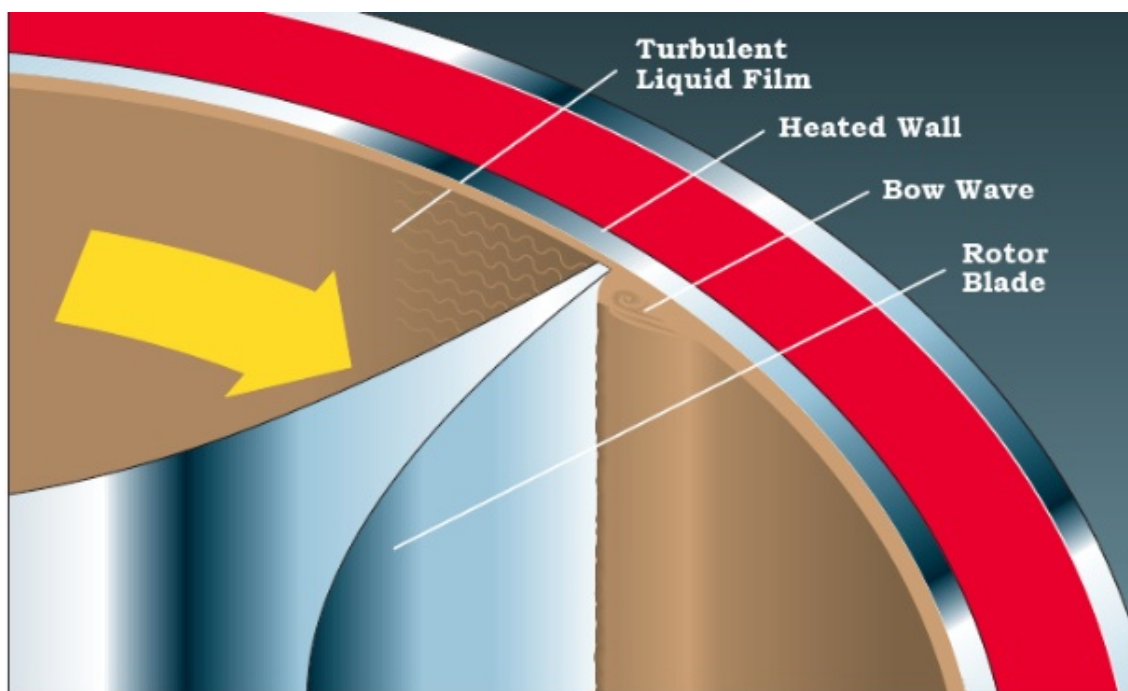
Ohutfilmihaihduttimessa tuote haihtuu erittäin tehokkaasti, ks. kuva 8. Yleisesti käytössä on laskevia ohutfilmihaihduttimia, joissa neste syötetään sisään yläkautta ja poistuu konsentroituna tuotteena alakautta. Kaikki tämä tapahtuu omassa haihdutuskolonnissa, jota ympäröi lämmitysvaippa. (9)

Haihduttimeen muodostetaan alipaine, joka on suuruudeltaan 1-1000 mbar (0,1- 100 kPa). Alle 1 mbar:n alipainetta ei ohutfilmihaihduttimessa voi käyttää, sillä liuottimen haihtumisesta syntyneen höyryn siirtämiseen ulkoiselle lauhduttimelle tarvitaan riittävän suurta paine-eroa. (10)

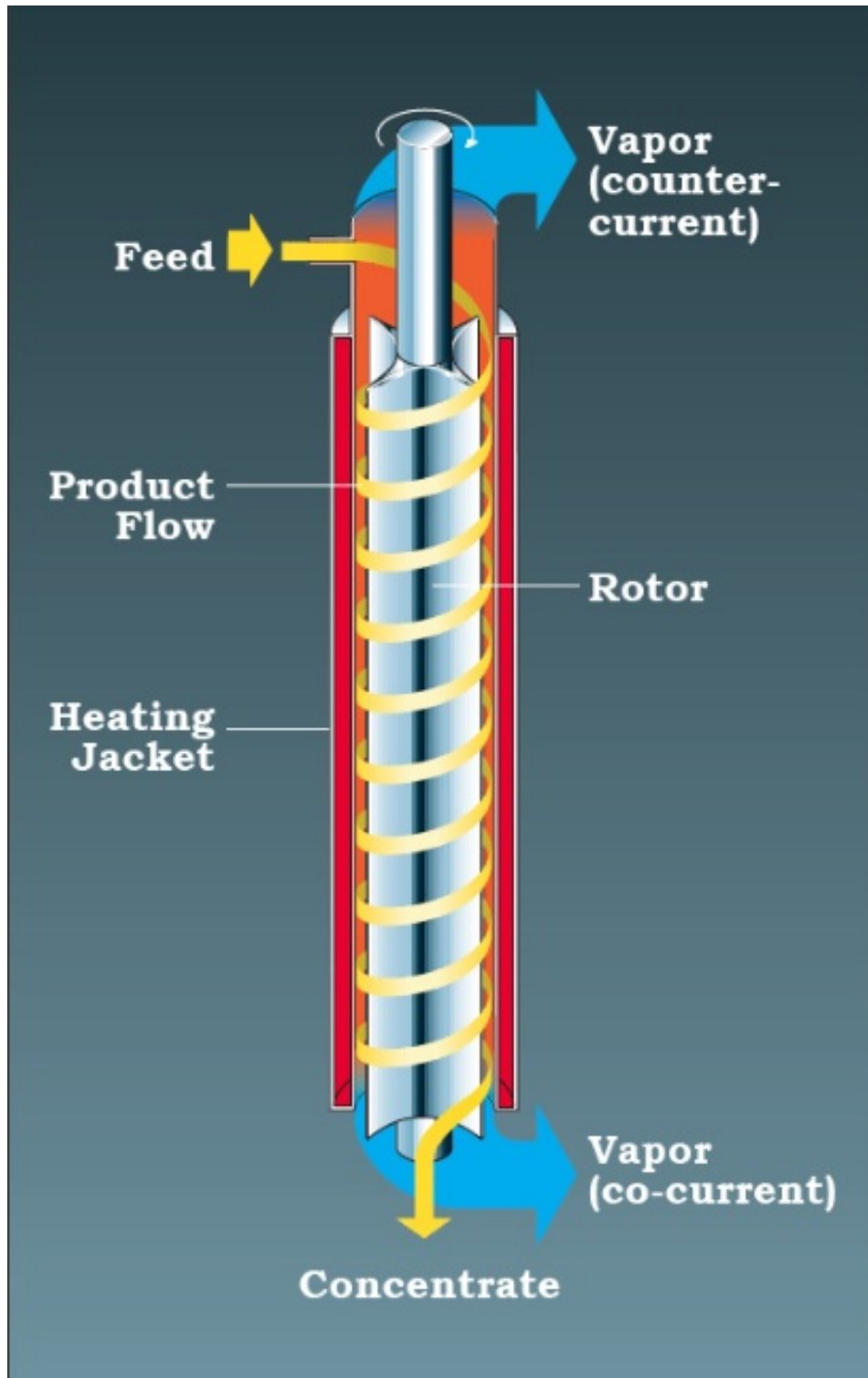


Kuva 8. Ohutfilmihaihduttimen haihdutuskolonne. (10)

Ohutfilmihaihduttimen päällä on moottori ja vaihteisto, jotka pyörittävät vetoakselia, joka vuorostaan pyörittää pyyhkijöitä (esim. rullapyyhkijöitä, siipiä, lapoja). Pyyhkijät saavat pyyhittyä tuotteen lämmönvaihtimen pinnalle alle 1 millimetrin paksuisena filminä. Pyyhkijät muodostavat tuotteelle aaltoliikkeen, joka synnyttää hyvin turbulenttisen virtauksen, ks. kuva 9. Tällöin haihdutus on tehokasta ja neste virtaa haihdutuskolonissa spiraalimaisesti alaspäin pitkin lämmitysvaipan pintaa, ks. kuva 10. (3). Haihtuva komponentti, esimerkiksi vesihöyry, poistuu yläpuolella sijaitsevan höyrysuulakkeen kautta. (10)



Kuva 9. Ohutfilmihaihduttimen pyyhkijän toimintamekanismi. (9)



Kuva 10. Nestevirran kulku pystysuorassa ohufilmihaiduttimessa. (9)

## 5.2 Tavallisimmat haastavien tuotteiden haihduttamiseen liittyvät ongelmat

Esimerkiksi pitkäputkiahduttimet ovat olleet menestyksekkäästi yleisessä käytössä. Kuitenkaan lämpöherkkien, viskoosien, pilaantuvien ja korkeassa lämpötilassa kiehuvien nesteiden osalta putkiahduttimet eivät ole olleet aina riittävän hyviä. Ongelmia ovat olleet mm. lämpövaihtimien pintojen likaantuminen, putkien tukkeutuminen, pieni lämmönsiirtokerroin ja haihduttimessa vallitsevan paineen heittely. (9)

### **Ohutfilmiahduttimen edut**

Verrattuna yleisimpiin haihdutintyyppeihin, ohutfilmiahduttimilla pystyy käsittelemään haastavia tuotteita paremmin. Tämä haihdutintyyppi mahdollistaa tuotteen pienen läpimenoajan ja turbulenttisen virtauksen haihduttimessa, korkean haihtuvuusasteen, korkeaviskositeettisten tuotteiden haihdutuksen, pienen paineen heittelyn ja soveltuvuuden monenlaisten helposti pilaantuvien ja sakkautuvien tuotteiden haihdutukseen. Lisäksi tuotetta ei pääse jäämään haihdutusyksikköön, eikä lämmönvaihtimen pinta likaannu, sillä tuotetta pyyhitään jatkuvasti lämmönvaihtimen pinnalta. Nämä kaikki seikat yhdessä sallivat hyvin lämpöherkkien, korkeaviskositeettisten sekä herkästi pilaantuvien tuotteiden haihdutuksen. (11)

## 5.3 Ohutfilmiahduttimen käytön sovellukset

Ohutfilmiahdutin on hyvä valinta sellaisten tuotteiden haihduttamiseen, jotka sisältävät helposti haihtuvia komponentteja, ja joita täytyy poistaa laadun, tuoton tai ympäristön olosuhteiden parantamiseksi. Useimmiten ohutfilmiahdutinta käytetään lämpöherkkien elintarvikkeiden haihduttamiseen. (9)

### 5.3.1 Lämpöherkät orgaaniset kemikaalit

Tuotteen lyhyt läpimenoaika ja laitteiston mahdollistama alipaine takaa tuotteille hyvän laadun ja tuoton. Erotettaessa orgaanista haihtuvaa ainesta nesteestä ohutfilmiahduttimella on hyvin tehokasta. Tämän aikaansaa korkea

aineensiirtoaste ohuen nestefilmin johdosta. Monet orgaaniset materiaalit ovat vaikeasti käsiteltäviä niiden korkean kiehumis- ja sulamispisteen johdosta, sekä joidenkin aineiden taipumuksesta sakkautua tai pilaantua lämmön takia. (9)

Tyypillisiä esimerkkejä ovat mm:

- Monomeerien ja kloorattujen hiilivetynesteiden puhdistus
- Petrokemikaalien, luonnollisten öljyjen, rasvahappojen ja isosyanaatin puhdistus ja erotus
- Hyönteismyrkkujen ja sienimyrkkujen säilymisajan ja reaktiivisuuden parantaminen (9)

### 5.3.2 Elintarvikkeiden ja lääkeaineiden konsentroiminen

Korkeiden laatustandardien omaavat lämpöherkät ruoka- ja lääkeaineet voidaan konsentroida ohutfilmihaihduttimella. Tuotteen kuiva-ainepitoisuus kasvaa sen edetessä haihduttimessa, jolloin tuotteen lämpöherkkyys ja viskositeetti myös yleisesti kasvaa. Tällöin tarve lyhyeen läpimenoaikaan myös korostuu. Ohutfilmihaihdutus täyttää nämä tarvevaatimukset tarjoten samalla myös tehokkaan lämmönsiirron. (9)

Tyypillisiä esimerkkejä ovat mm:

- Lesitiinin konsentroiminen 99,5 % asti
- Entsyymien, proteiinien ja vitamiinien konsentroiminen
- Hedelmä- ja vihannessoseiden konsentroiminen
- Biologisten nesteiden konsentroiminen
- Liuottimen poisto vihannes- ja kasviuutteista
- Veden ja muiden liuottimien poisto kasvatusliuoksesta (9)

### 5.3.3 Vaikeasti haihdutettavat korkeaviskositeettiset tuotteet

Monissa tuotteissa viskositeetti nousee konsentraation kasvaessa. Tässä asiassa mekaanisella sekoituksella varustettu ohufilmi haihdutuslaitteisto tarjoaa merkittäviä etuja. Tähän erityiseen käyttöön suunnitellut roottorit tekevät mahdolliseksi kuljettaa materiaaleja, joiden viskositeettiarvo on jopa 15 000 Pas, haihdutusyksikön läpi. (9)

Tyypillisiä esimerkkejä ovat mm:

- Monomeerien ja haihtuvien komponenttien poistaminen akryylihartseista
- Fenolin ja veden poistaminen fenolihartseista
- Monomeerien poistaminen silikonipolymeereistä (9)

### 5.4 Elintarvikkeiden haihdutuksessa huomioon otettavia asioita

Elintarviketeollisuudessa tarvitaan usein matalan lämpötilan haihdutusta ja alipainetta rakenteen, ravinnearvojen ja maun säilyttämiseksi. Haihdutus on myös paras tekniikka, jos haluaa päästä yli 90% kuiva- ainepitoisuuksiin. Elintarviketuotteita haihdutettaessa pyritään minimoimaan se aika, jolloin tuote viipyy korkeassa lämpötilassa. Tällöin tarvitaan nopeaa lämmönsiirtoa, alhaista lämpötila- vakuumi- yhdistelmää, tehokasta nesteen ja höyryn erotusta, sekä tehokasta energian käyttöä.

Hyvin tärkeä osatekijä haihdutuslaitteistoja elintarvikekäyttöön suunniteltaessa on myös hygienia, koska usein haihdutuksessa käytettävät lämpötilat ja paineet eivät riitä mikrobien tuhoamiseen. Tällöin haihduttimien materiaaleihin täytyy kiinnittää huomiota. Parhaita ovat materiaalit, joissa on kiillotetut pinnat, koska niihin tarttuu tällöin mahdollisimman vähän orgaanista ainesta. Viskositeetti on myös tärkeä tekijä, joka täytyy ottaa huomioon lämmönsiirrossa. Mitä korkeampi viskositeetti on, sitä rajoittuneempaa on myös lämmönsiirto. Myös viskositeetti muuttuu lämpötilan vaihdellessa ja näin ollen elintarvikkeella on eri viskositeettiarvoja eri puolilla laitteistoa. Taulukossa 1 on esitetty haihdutinratkaisun valintakriteerejä elintarviketeollisuudessa. (4)



Taulukko 1. Haihdutintratkaisun valintakriteerejä elintarviketeollisuudessa. (3)

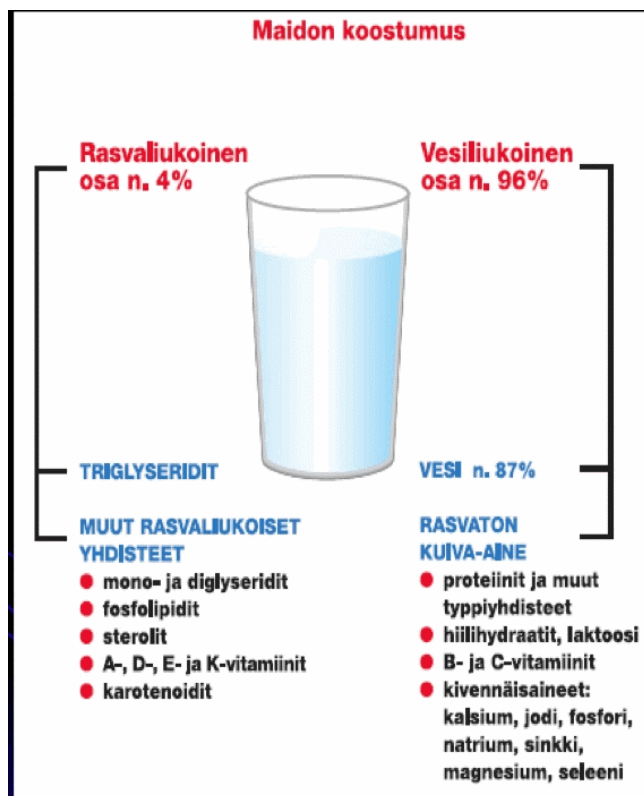
<b>Kriteeri</b>	<b>Suunnittelunäkökohta</b>
Lämpöherkkä tuote	Matala lämpötila (suuri alipaine), lyhyt viipymäaika, ”kerran läpi”-ratkaisu
Korkea hygienia	Korkea lämpötila, kiillotetut pinnat, CIP (Pesujärjestelmä)
Korkea sakkautuminen tai likaantuminen	Riittävä turbulenssi, hyvä nesteenjako, pakkokierto (FC), CIP (pesujärjestelmä), matala lämpötila ja lämpötilaero
Korroosio (korkea kloridipitoisuus)	Oikea materiaalivalinta (korkeaseosteinen hateräs tai titaani), matala lämpötila, korkea pH, rakojen välttäminen, hapen minimointi
Alhaiset käyttökustannukset	MVR, hukkalämmön käyttö, esiväkeväinti käänteisosmoosilla (RO)

## 6 Konsentroidut maitotuotteet sekä

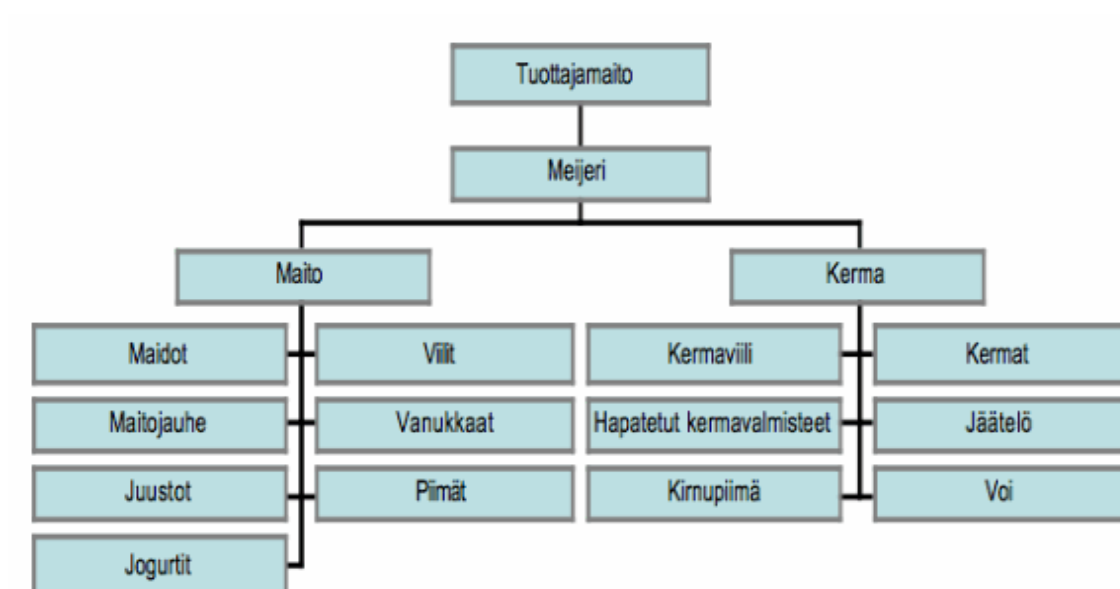
### konsentroitintekniikat

#### 6.1 Maito

Maito on biologisesti tuotettu neste, jonka koostumus vaihtelee eläinlajien välillä riippuen nisäkkäiden poikasten ravitsemuksellisista tarpeista (9). Maito koostuu rakenteellisesti rasvaliukoisista ja vesiliukoisista osista. Rasvaliukoisiin osasiin kuuluvat triglyseridit ja muut rasvaliukoiset yhdisteet, kuten mono- ja triglyseridit, fosfolipidit, sterolit, a-, d-, e- ja k- vitamiinit sekä karotenoidit. Maidon vesiliukoisiin osasiin kuuluvat vesi ja rasvattomat kuiva-aineet, kuten proteiinit ja muut typpiyhdisteet, laktoosi ja muut hiilihydraatit, b- ja c- vitamiinit sekä kivennäis- ja hivenaineet. Kuvassa on esitetty lehmän maidon koostumus. (12)



Kuva 11. Maidon koostumus. (12)



Kuva 12. Maitovalmisteita.

## 6.2 Maidon konsentroidintekniikat

Konsentroidun maidon valmistusmenetelmissä on perusedellytyksenä veden poistaminen. Yleisesti on käytössä kolme eri konsentroidintekniikkaa: (13)

1. Haihdutus: veden poistaminen kaasuna
2. Käänteisosmoosi/ ultrafiltraatio: veden poisto nesteenä
3. Kylmäkonsentroidinti: veden poisto jäänä (13)

### 6.2.1 Haihdutus

Haihdutus on vanhin ja käytetyin konsentroidintekniikka. Lämmöstä johtuvien vahinkojen välttämiseksi maidon kiehuminen tapahtuu 40°C – 70°C lämpötiloissa alipaineen vaikutuksesta. Meijeriteollisuudessa putoavat pitkäputkihaiduttimet ovat perinteisesti olleet hyvin suosittuja. (13)

### **Lämmön vaikutus maitoproteiineihin**

Maidon kaseiiniproteiinit ovat melko vakaita 140°C asti. Erityisen lämpöherkkiä proteiineja ovat maidon eri heraproteiinit, jotka alkavat denaturoitua merkittävästi jo 80°C:ssa. Denaturaatiota seuraa myös stabiloivien disulfididisosten katkeaminen. Betalaktoglobuliini on herkempi lämmön vaikutuksille kuin alfalaktalbumiini sen kemiallisen rakenteen johdosta. Pitkäkestoinen lämmitys johtaa yleiseen proteolyysiin, lysinoalaniinin muodostumiseen ja maillard- reaktioon. Yli 20 minuuttia kestävä maidon lämmitys johtaa kaseiinimisellien denaturoitumiseen ja geelin muodostumiseen. Geelin muodostuminen on kuitenkin toivottua, jos maidon pH on laskettu (esim. hapanmaitotuotteet) tai kun k- kaseiinissa tapahtuu proteolyysiä (esim. Cheddar- juuston valmistus). Sopivissa olosuhteissa myös happamoitumista voidaan käyttää fraktoimaan maitoproteiineja (esim. happokaseiinin valmistus). Muissa tapauksissa proteiinimisellien destabiloiminen ei ole teknologisesti toivottua. (13)

Taulukko 2. Lämpökäsittelyn vaikutukset maidon proteiineihin. (14)

Fraction	Heat treatment of milk <sup>a</sup>					
	Raw	61.7 C	93.3 C	110.0 C	126.7 C	143.3
Whey protein N <sup>c</sup>	0.889	0.864	0.821	0.651	0.565	0.382
% change	.....	2.81	7.65	26.78	36.45	57.03
Whey protein N <sup>b,c</sup>	0.824	0.817	0.769	0.658	0.521	0.371
% change	.....	0.85	6.67	20.15	36.77	54.98
Total albumin N <sup>c</sup>	0.669	0.667	0.661	0.523	0.447	0.276
% change	.....	0.30	1.20	21.82	33.18	58.74
$\beta$ -lactoglobulin N <sup>c</sup>	0.357	0.342	0.317	0.274	0.213	0.107
% change	.....	4.20	11.20	23.25	40.34	70.03
Residual albumin N <sup>c</sup>	0.311	0.325	0.344	0.248	0.234	0.169
Proteose-peptone N <sup>c</sup>	0.107	0.090	0.088	0.074	0.068	0.064
Globulin N <sup>c</sup>	0.114	0.107	0.071	0.054	0.049	0.042
% change	.....	6.14	37.72	52.63	57.02	63.16
Noncasein N <sup>c</sup>	1.179	1.152	1.095	0.936	0.844	0.662
% change	.....	2.29	7.12	20.61	28.41	43.85
Nonprotein N <sup>c</sup>	0.290	0.287	0.274	0.284	0.279	0.279

<sup>a</sup> Heating times: 30 min at 61.7 C and 2.08 sec at 93.3, 110.0, 126.7, and 143.3 C.

<sup>b</sup> Harland-Ashworth method.

<sup>c</sup> Expressed as milligrams N per milliliter milk.

### 6.2.2 Käänteisosmoosi ja ultrafiltraatio

Käänteisosmoosin ja ultrafiltraation välillä on paljon samoja ominaisuuksia ja erot ovat sattumanvaraisia. Eroavaisuudet ovat näiden kahden välisessä suorituskyyvyssä. Käänteisosmoosi tarvitsee kymmenen kertaa suuremman paineen toimiakseen ultrafiltraatioon verrattuna. Käänteisosmoosi pidättää molekyylejä, jotka ovat molekyylimassaltaan 500 g/mol, kun taas ultrafiltraatio pidättää molekyylejä, jotka ovat molekyylimassaltaan noin 1000 g/mol. (13)

Kalvosuodatus tapahtuu ilman faasimuutosta ja teoriassa energian tarvevaatimukset pienenevät. Kalvosuodatustekniikoiden kyky konsentroida on melko pieni ja useimmiten kalvosuodatuksen jatkeena käytetään haihdutinta. Kalvosuodatuksen etuja ovat soveltuvuus lämpöherkille tuotteille ja makuaineiden häviöttömyys, koska lämpöä ei tarvita veden erottamiseen. Kalvosuodatusta saatetaan käyttää hapanmaito- ja juustotuotteiden raaka-aineina käytettävien maitojen konsentroimisessa. (13)

### 6.2.3 Kylmäkonsentroidint

Kylmäkonsentroidinnilla voi saada aikaan laadukasta konsentroitua maitoa ja ei-toivottuja muutoksia maidossa tapahtuu hyvin vähän. Kylmäkonsentroidint on kuitenkin hyvin kallis tekniikka, jonka kustannukset ovat yli nelinkertaiset haihdutukseen tai kalvosuodatukseen verrattuna. (13)

## 6.3 Konsentroidut maitotuotteet

Sekä teollisuutta varten että suoraan kulutukseen tehdään lukuisia konsentroituja maitotuotteita. Jokaisen konsentroidun maitotuotteen prosessin ydin on veden poistaminen. (13)

### 6.3.1 Konsentroidu maito

Konsentroidut maitovalmisteet oli alunperin tarkoitettu käytettäväksi sellaisenaan sopivan laimennuksen jälkeen. Ajatuksen takana oli vähentää varastokustannuksia konsentroitujen maitovalmisteiden pienemmän tilan tarpeen takia. Konsentroidun maidon varastoinnin edut ovat kuitenkin olleet vähäiset, eikä tästä syystä kyseiset maitovalmisteet ole olleet kovin tärkeitä meijerituotteita. (13)

Konsentroidut maidot valmistetaan korkealuokkaisesta, esilämmitetystä maidosta. Maito konsentroidaan yleensä suhteessa 3:1, joka sitten standardoidaan, homogenoidaan ja pastöroidaan ennen pakkaamista. Pastöroinnissa käytetään korkeampaa lämpötilaa tasoittamaan korkeamman kuiva-ainepitoisuuden suojaavaa vaikutusta. Tässä käytetty lämpötila – aikayhdistelmä on useimmiten 79,4°C-25 s. Suuremman kuiva-ainepitoisuuden johdosta vesiaktiivisuus pienenee ja mikrobin kasvu on hyvin vähäistä. Varastoinnin ja jakelun aikana tuote säilytetään kylmässä. (13)

### 6.3.2 Maitotiiviste (condensed milk)

Maitotiivisteitä valmistetaan suuria määriä haihduttamalla ja käyttökohteet ovat pääasiassa konditorioissa, leipomoissa ja muussakin ruoan valmistuksessa.

Juuston ja hapanmaitotuotteiden valmistuksessa on käytetty maitoja, jotka on konsentroidu ultrafiltraatiolla tai käänteisosmoosilla. Näistä saatuja retentaatteja on käytetty jäätelön valmistuksessa. (13)

Maitotiivisteiden valmistuksessa voidaan käyttötarkoituksesta riippuen käyttää täysmaitoa, vähärasvaisempaa tai rasvatonta maitoa. Joissakin tapauksissa myös ei- maitoperäistä rasvaa voidaan lisätä lopputuotteeseen. Jäätelön valmistuksessa rasvattomaan maitoon voidaan sekoittaa heraa suhteessa 5:1 ennen maidon konsentroitua. Lopputuotteesta riippuen maito konsentroidaan yleensä suhteessa 2,5:1 – 4:1. (13)

### 6.3.3 Haihdutettu maito (evaporated milk)

Haihdutettu maito on lopputuotteena samanlainen kuin maitotiivistekin. Ero näiden kahden tuotteen välillä muodostuu ennen konsentroitua tapahtuvassa maidon käsittelyssä. Haihdutettu maito on tarkoitettu useimmiten pitkäaikaiseen varastointiin, josta johtuen maito pitää esikäsitellä niin, ettei koaguloitumista pääse tapahtumaan. Koaguloitumista saattaa tapahtua maidon paksuuntumisen vuoksi pitkäaikaisessa varastoinnissa. (13)

Stabiloivia suoloja lisätään sen verran, että maidon pH on välillä 6,6- 6,7, joka on optimi maidon stabiilisuuden suhteen. Stabiilisuutta saadaan aikaan myös esilämmityksellä, jolla heraproteiinit tuhotaan. Esikäsitelty maito haihdutetaan ja tämän jälkeen tavallisesti UHT- käsitellään ja täytetään aseptisesti steriloituihin tölkkeihin, pulloihin tai pakkauskartonkeihin. Erityisesti rasvattomista tai vähärasvaisista maidosta valmistetuissa haihdutetuissa maitovalmisteissa saattaa varastoinnin aikana esiintyä sedimentoitumista. Haihdutettua maitoa käytetään erityisesti leivonnassa. (13)



Kuva 13. Haihdutettu maito – tölkki. (15)

#### 6.3.4 Makeutettu maitotiiviste

Makeutetun maitotiivisteen säilyvyyden takaa korkea sokeripitoisuus, jonka johdosta tuotteen veden aktiivisuus ( $a_w$ ) pienenee. Ennen konsentrointia (haihdutusta) maito esilämmitetään ja maitoon lisätään sokeria. Sokeria saatetaan myös lisätä haihdutuksen aikana, varsinkin jos tuotteelle halutaan parempi säilyvyys. Tässä tapauksessa yleensä on kyseessä vähittäismyyntiin tarkoitettu tuote. Korkean sokeripitoisuuden takia haihdutusprosessissa on viimeisenä haihdutuslaitteena pieni haihdutin, joka haihduttaa pieniä vesimääriä ja joka on tarkoitettu korkeaviskoosille nesteille. Lisätty sokeri on yleensä sakkaroosia, mutta myös muita sokereita voidaan lisätä teollisuuteen tarkoitettuihin tuotteisiin. Sokerin suhteellinen osuus on yleensä 63.5- 64.5 massaprosenttia vähittäismyyntiin tarkoitetuissa tuotteissa, mutta erityisesti kylmäsäilöntään tarkoitetuissa tuotteissa sokerin suhteellinen osuus voi olla 42 massaprosenttia. (13)

#### 6.4 Konsentroimisen vaikutukset maitoon

Maidon konsentroimisella on monia eri vaikutuksia, joihin voi vaikuttaa esim. esilämmityksessä käytetyllä lämpötilalla. (13)

Konsentroimisen yleiset vaikutukset maidolle:

1. Veden  $a_w$ -arvon pieneneminen
2. Fyysisten ominaisuuksien muutos ( tiheyden ja taitekertoimen suureneminen, lämmönjohtavuuden pieneneminen)
3. Viskositeetin suureneminen, nesteestä tulee ei- Newtoninen
4. Diffuusiokerroin pienenee
5. Hygroskooppisuus suurenee
6. Osmoottinen paine, jäätymispisteen lasku, kiehumispisteen nousu ja sähkönjohtavuuden nousu
7. Liuenneen aineen termodynaaminen aktiivisuus lisääntyy
8. Ylikylläisessä liuoksessa liuenneet aineet voivat saostua
9. Proteiinien ulkomuoto (konformaatio) voi muuttua, jolloin taipumus pieneen rakenteeseen ja assosiaatioon lisääntyy
10. Kaseiinimisellien koko kasvaa. Tämä johtuu enemmänkin proteiinien yhteenliittymisestä kuin turpoamisesta (13)

## **7 Maidon haihduttaminen Turun AMK:n ohutfilmihaihduttimella**

Maito on hyvä malliliuos ohutfilmihaihduttimelle, koska se edustaa erittäin lämpöherkkää biologista tuotetta sen sisältämien proteiinien johdosta. Ohutfilmihaihduttimella voi konsentroida maitoa laitteiston mahdollistaman matalan lämpötilan takia. Tästä johtuen maidon proteiinit eivät denaturoidu ja tuloksena syntyy vahingoittumatonta konsentroitua maitoa. Maitoa on myös helppo hankkia sen saatavuuden ja edullisen hinnan takia.



### 7.1 Turun AMK:n ohutfilmihaihduttimen toimintaan perehtyminen

Laitteen toimintaan perehdyttiin ennen varsinaisia koeajoja ja niiden suunnittelua. Tärkeää oli ottaa selvää, mitkä apulaitteet vaikuttavat tuotteen prosessointiin ja mitä mahdollisia parametreja pystyy muuttamaan. Yhtä tärkeää oli myös pesupuolen ja öljylämmityskierron toimintaan perehtyminen.

Pyrkimyksenä oli myös selvittää yksittäisistä laitteista koostuvat säädettävät parametrit, jolla laite kykenee haihduttamaan. Kaikki laitteeseen perehtymiseen liittyvät koeajot tehtiin vedellä, jonka avulla tehtiin useita mittauksia eri parametreja käyttäen. Säädettäviä parametreja laitteistossa ovat lämpötila, tuotteen syöttönopeus ja haihdutusyksikön telojen pyörintänopeus. Jokaisen kokeen alussa mitattiin sen veden määrän, joka oli laitettu haihdutettavan nesteen säiliöön. Kun haihdutustoimenpide oli valmis, mitattiin veden määrä sekä tuotesäiliöstä että tisesäiliöstä.

### 7.2 Kuiva – ainepitoisuuden määrittäminen

Kuiva-ainepitoisuuden määrittämiseksi luotettavasti päädyttiin siihen, että maitonäytteiden kuiva-ainepitoisuus täytyy mitata kahta eri menetelmää käyttäen. Yhtenä menetelmänä näytteet kuivataan lämpökaapissa. Lämpötila saisi olla korkeintaan 70°C, jotta proteiinien denaturoitumisreaktiota ei esiintyisi. Toinen hyvä ja ennen kaikkea nopea menetelmä kuiva-ainepitoisuuden määrittämiseen on refraktometrillä mittaaminen.

Refraktometrillä voi mitata nesteiden kuiva-ainepitoisuuksia valon taitekertoimen avulla. Valosäteen taitekerroin riippuu nesteeseen liuenneiden aineiden pitoisuuksista. Mittaaminen tapahtuu prisman avulla, josta valosäde heijastuu, jolloin taitekerroin (refraktioindeksi) voidaan mitata. Luotettavinta refraktometrillä on mitata liuosten kuiva-ainepitoisuuksia. Maito on kolloidinen dispersio, mutta myös sen kuiva-ainepitoisuuden mittaamista refraktometrillä kokeiltiin. Refraktometrillä mittaaminen vaatii standardisuoran tekemisen, jonka luomiseksi tarvitaan refraktometriltä saadut tulokset sekä kuivauksesta saadut

tulokset. Näin saadun standardisuoran avulla voi jatkossa tehdä luotettavia kuiva-ainepitoisuuden määrittäyksiä myös refraktometrin avulla.

### 7.3 Maidon haihduttaminen

Haihdutustyötä tehtiin rasvattomalla maidolla, koska se takaa sen, ettei haihduttamisen jälkeen konsentroitua maitoa tarvitse enää homogenoida rasvan erottumisen takia. Rasvattoman maidon haihduttamisella varmistuu samalla myös siitä, että konsentroidut maitonäytteet ovat luotettavia ja keskenään homogeenisia. Varmaa tietoa homogenoidun, rasvaa sisältävän maidon käyttäytymisestä konsentroimisen tuloksena ei ole, mutta rasvattoman maidon käytöllä välttyy maidon homogenoimiselta. Maitovalmisteet, joita haihduttamisessa käytettiin, olivat tavallinen rasvaton purkkimaito (Valio, 1 l) sekä rasvattomasta maitojauheesta (Valio, rasvaton maitojauhe, 500 g) valmistettu maito.

Ensimmäisellä haihdutuskerralla käytettiin tavallista rasvatonta purkkimaitoa 20 l:n verran ja aikaisempien mittaustulosten perusteella parasta haihtuvuutta maidolle pyrittiin saamaan asettamalla parametrit siten, että ne vastasivat parasta aikaisemmin veden haihdutuksella saatua haihtumisarvoa .

Toisella haihdutuskerralla syöttönopeudet asetettiin siten, että ne vastaisivat laitevalmistajan ilmoittamia kapasiteettiarvoja laitteistolle. Maitoa tehtiin rasvattomasta maitojauheesta mittauksia varten 30 litraa, josta sai tehtyä viisi erillistä mittausta. Jokaisen mittauksen jälkeen sammutettiin alipainepumput ja tuotteen syöttöpumppu sekä haihduttimen sekoitin. Paineen tasaamista nopeutettiin avaamalla säiliöiden yläpuolella olevat korvausilmaventtiilit. Venttiilit jätettiin auki, jonka jälkeen säiliöiden pohjahanat avattiin. Konsentroitunut maito otettiin talteen, josta tuli näyte kuivausta ja refraktrometrillä tehtäviä mittauksia varten. Seuraavaa mittausta varten alipainepumput laitettiin taas päälle. Kun paine ei enää muuttunut, haihduttimen sekoitin sekä tuotteensyöttöpumppu laitettiin päälle. Ensin tuli valita kuitenkin syöttönopeus tuotteensyöttöpumpulle.

Maitonäytteiden lämpökuivaamiseen käytettiin alustana alumiinivuokia. Näytteet lämpökuivaamista varten tehtiin siten, että alumiinivuoat punnittiin ensin tyhjinä, jonka jälkeen punnittiin sopiva määrä eri näytettä jokaiseen vuokaan. Kuivauksen jälkeen kuivan näytteen painon pystyi punnitsemaan siten, että vähensi saadusta punnitustuloksesta tyhjän vuolan painon. Eri mittauksista tuli yhteensä viisi näytettä ja kustakin näytteestä kolme rinnakkaisnäytettä. Näyte 0 on kontrollinäyte, joka otettiin tehdystä haihdutettavasta maidosta. Muut näytteet otettiin seuraavasti: näyte 1 mittauksesta 1, näyte 2 mittauksesta 2, näyte 3 mittauksesta 4 ja näyte 4 mittauksesta 5.

Taulukko 3. Toisessa haihdutuksessa käytetyt parametrit.

	Syöttönopeus (% maksimista)	Käytetty lämpötila (°C)	Telojen pyörimisnopeus (rpm)
Mittaus 1	2,5	70	200
Mittaus 2	4	70	300
Mittaus 3	6	70	450
Mittaus 4	2,0	80	200
Mittaus 5	10	80	450

Kolmannessa haihdutuksessa tavoite oli toistaa aikaisempi, onnistunut maidon haihdutus samanlaisin työmenetelmin. Tällä kerralla tehtiin jokaisesta mittauksesta kolme rinnakkaisnäytettä petrimaljoille näytteiden kuivausta varten. Kuivattujen näytteiden punnitustuloksista sekä refraktometrillä saaduista tuloksista ilmenee refraktioindeksin sekä kuiva-ainepitoisuuden riippuvuus. Näyte 0 on kontrollinäyte (haihduttamaton maito). Muut näytteet otettiin seuraavasti: näyte 1 mittauksesta 1, näyte 2 mittauksesta 2 ja näyte 3 mittauksesta 3.

Taulukko 4. Kolmannessa haihdutuksessa käytetyt parametrit.

	Syöttönopeus (% maksimista)	Käytetty lämpötila (°C)	Telojen pyörimisnopeus (rpm)
Mittaus 1	1,5	70	200
Mittaus 2	2,5	70	200
Mittaus 3	4	70	200

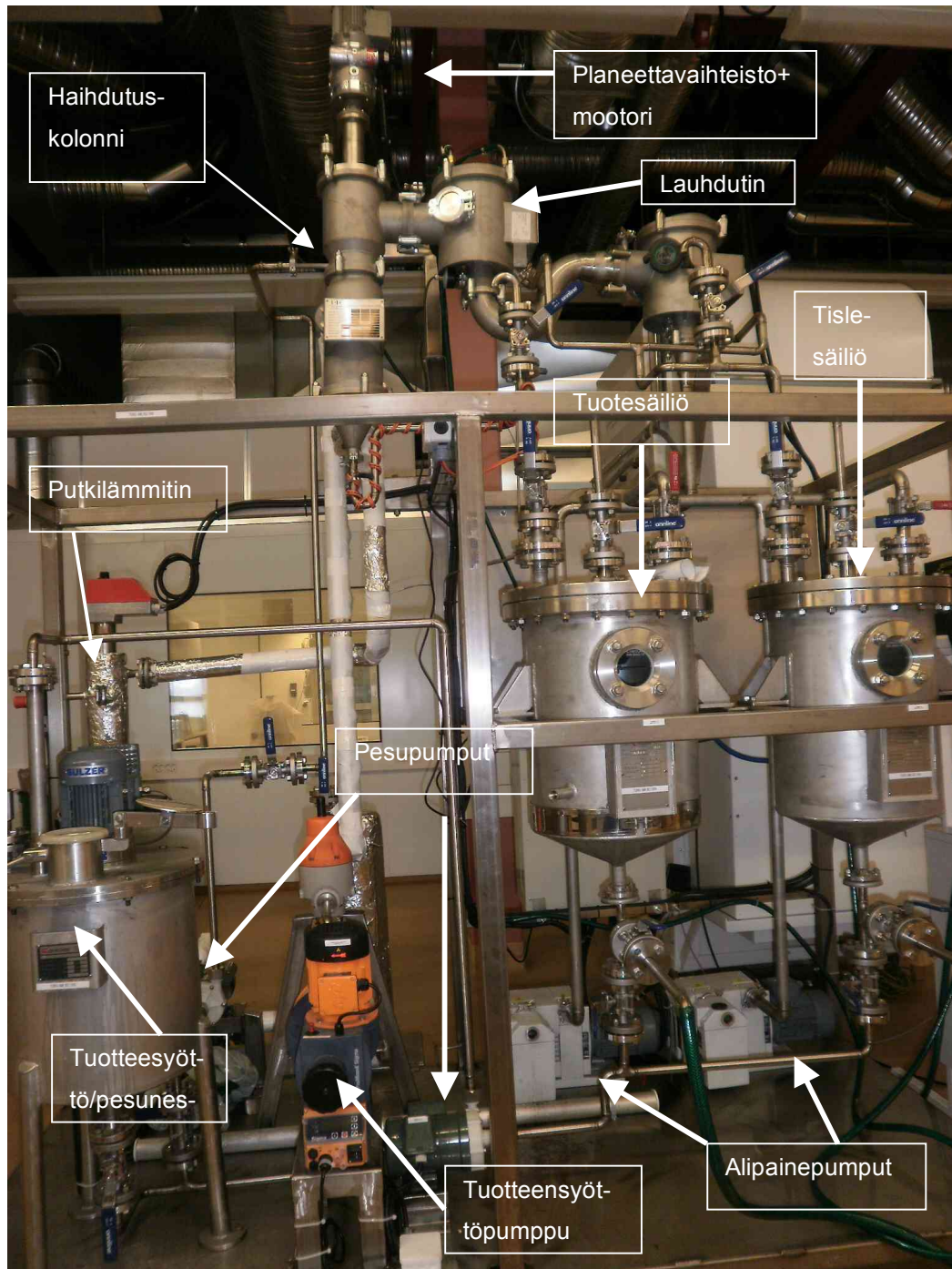
Kaikista mittauksista saadut tulokset on esitetty kappaleessa 9.

#### 7.4 Maidon peseminen pois ohutfilmihaihdutinlaitteistosta

Ohutfilmihaihduttimeen kuuluu osana laitteiston pesemiseen tarkoitettu CIP-kiertopesureitti, joka koostuu säiliöiden pesupalloista ja pesuainepumpuista. Ensimmäisellä ja toisella haihdutuskerralla käytettiin maidon pesemiseen happo- ja emäspesuja. Ongelmaksi muodostui kuitenkin maitoproteiinin liiallinen vaahtoutuminen, jonka takia aikaa kului lopuksi runsaasti vaahton pesemiseen pois veden avulla. Kolmannella kerralla pesemiseen käytettiin nestemäistä, hyvin emäksistä konetiskiainetta (Pesetti 10+). Peseminen oli huomattavasti helpompaa pienemmän vaahtoamisen johdosta. Lopuksi pesuaine huuhdeltiin pois kylmällä vedellä. Pesuaineen poistuminen todettiin mittaamalla lopuksi pH-paperilla veden pH.

## 8 Teknisten tietojen kartoitus

Turun ammattikorkeakoululla sijaitseva ohutfilmihaihdutin koostuu monista yksittäisistä laitteista, joilla on toisistaan poikkeavia käyttötarkoituksia, ks. Kuva 14. Näin ollen onkin tärkeää erottaa toisistaan tuotteen kulkureitti, öljylämmityskierto ja haihdutuslaitteiston pesun kulkureitti kaikkine laitteineen.



Kuva 14. Turun AMK:lla sijaitseva ohutfilmihihaidutinlaitteisto selitteineen.



Kuva 15. Turun AMK:lla sijaitseva ohutfilmihaihdutinlaitteiston öljylämmitys selitteineen.

Laitteistosta on tehty kolme erillistä piirrosta Microsoft Vision- ohjelmalla, joissa erottuu selvästi toisistaan kolme eri toimintoa ja reittiä (Liitteet 1-3). Näiden kolmen reitin yksittäiset laitteet on lueteltu alla. Lähes kaikkien yksittäisten, haihdutinkokonaisuuteen kuuluvien laitteiden tekniset tiedot on saatavilla laitevalmistajien internet-sivuilta.

### 8.1.1 Tuotteen kulkureitti ja apulaitteet

Haihdutuskolonne: Valmistaja (UIC GmbH, tyyppi RF 10). Tekniset tiedot ks. Liite 6.

Tuotesyöttöpumppu: Valmistaja (Prominent Finland, tyyppi S3Ca). Moottorikäyttöinen kalvoannostuspumppu mikroprosessoriohjauksella. Tekniset tiedot ks. Liite 4.

Alipainepumput (2 kpl): TRIVAC D 16 B-Ex, öljylamelli- vakuumpumppu. Varustettu Gas Ballast- venttiilillä. Tekniset tiedot ks. Liite 5.

Putkisto: Haponkestävää, ruostumatonta terästä, halkaisija 2 cm

Haihdutuskolonnin yläpuolella oleva moottorin+portaattoman vaihteisto: Planeettavaihteisto (portaaton vaihteisto), jossa ensiö- ja toisioakselit ovat samankeskeiset ja akselit pyörivät samaan suuntaan. Tekniset tiedot ks. Liite 8

Tuotteensyöttösäiliö: Haponkestävää, ruostumatonta terästä, tilavuus 50 l

Tuotesäiliö: Haponkestävää, ruostumatonta terästä, tilavuus 61 l

Tislesäiliö: Haponkestävää, ruostumatonta terästä, tilavuus 61 l

Venttiilit: Haponkestävää, ruostumatonta terästä, tyyppi: palloventtiili

### 8.1.2 Öljylämmityskierto

Ohutfilmihaihdutinlaitteiston öljylämmityskierto takaa riittävän kuumennuksen haihdutuskolonnin lämmitysvaipassa.

Öljykiertopumppu: Valmistaja (Marathon Electronic). Tekniset tiedot ks. Liite 9.

Öljyputkiston koko: Haponkestävää, ruostumatonta terästä, halkaisija 2 cm, eristetty

Putkilämmittimen teho: 6,4 kW

Lämmityksen ohjaus: FEPA Temperature Controller

### 8.1.3 Laitteiston kiertopesun (CIP) kulkureitti ja apulaitteet

Pesumoottorit (2 kpl): Valmistaja (Iwaki Pumps, tyyppi MD 70-RM), kaikkien kemikaalien kestävä, magneettikytkimellä varustettu nesteen siirtoon tarkoitettu pumppu. Tekniset tiedot ks. Liite 10.

Putket: Haponkestävää ruostumatonta terästä, halkaisija 2 cm

Venttiilit: Haponkestävää, ruostumatonta terästä, tyyppi:palloventtiili

Pesupallot: Haponkestävää, ruostumatonta terästä

### 8.1.4 Ulkomitat

Laitteiston ulkomitat koostuvat korkeudesta, leveydestä ja syvyydestä.

Korkeus: 3,3 m

Pituus: 2,4 m

Leveys: 1,35 m

Tärkeimmistä yksittäisistä teknisistä tiedoista on koostettu ohutfilmihaihdutinlaitteiston kokonaisuutta parhaiten kuvaava taulukko, ks. Kappale 9.3. Myös käyttökustannuksista on tehty laskelma, ks. Liite 11.

## 8.2 Kapasiteetin mittaaminen Turun AMK:n ohutfilmihaihduttimella

Teknisiin tietoihin myös olennaisesti kuuluva asia on kapasiteetti, jolla tarkoitetaan tehokkainta haihtuvuusastetta massavirtana haihdutuspinta-alaan suhteutettuna. Tämä arvoalue saavutetaan sopivalla syöttönopeudella syötettävän nesteen tiheydestä riippuen. Kapasiteetin mittaaminen oli kokeellista työtä, jonka pyrkimyksenä oli osoittaa todellinen kapasiteetti Turun AMK:lla sijaitsevalle ohutfilmihaihduttimelle.

Ohutfilmihaihduttimen kapasiteetin mittaamiseen käytettiin 10 % sakkaroosiliuosta. Sakkaroosi kestää huomattavasti korkeampaa lämpötilaa maitoon verrattuna, jolloin kapasiteettia on helpompi ja parempi mitata sen



avulla. Sakkaroosi on disakkaridi, joka koostuu kahdesta monosakkaridista, glukoosista ja fruktoosista. Sakkaroosi tarkoittaa puhekielessä tavallista pöytäsokeria. Sakkaroosin sulamispiste on 185-186°C, kun taas maidon hera- ja muut proteiinit ovat hyvinkin lämpöherkkiä (ks. kappale 6.2.1).

Ensimmäisessä haihdutusajossa tehtiin kolme mittausta. Aikaisempien, maidon haihdutuksesta saatujen kokemusten perusteella asetettiin sopivat syöttönopeudet tuotesyöttöpumpulle ja kierrosnopeudet haihdutuskolonnin yläpuolella olevalle planeettavaihteistolle. Ennen mittauksien aloittamista tehtyä sakkaroosiliuosta otettiin talteen, josta tuli kontrollinäyte (näyte 0). Jokaisen mittauksen jälkeen sammutettiin alipainepumput ja tuotteen syöttöpumppu sekä haihduttimen sekoitin. Paineen tasaamista nopeutettiin avaamalla säiliöiden yläpuolella olevat korvausilmaventtiilit. Venttiilit jätettiin auki, jonka jälkeen säiliöiden pohjahanat avattiin. Konsentroitunut sakkaroosiliuos otettiin talteen, josta tuli näyte (näytteet 1-3) kuivausta ja refraktrometrillä tehtäviä mittauksia varten. Seuraavaa mittausta varten alipainepumput laitettiin taas päälle. Kun paine ei enää muuttunut, haihduttimen sekoitin sekä tuotteesyöttöpumppu laitettiin päälle. Ensin valittiin haluttu syöttönopeus tuotesyöttöpumpulle. Sakkaroosiliuosnäytteiden lämpökuivaamiseen käytettiin alustana alumiinivuokia. Näytteet lämpökuivaamista varten tehtiin siten, että alumiinivuoat punnittiin ensin tyhjinä, jonka jälkeen punnittiin sopiva määrä eri näytettä jokaiseen vuokaan. Kuivauksen jälkeen kuivan näytteen paino punnittiin siten, että saadusta punnitustuloksesta vähennettiin tyhjän vuolan paino. Jokaisesta näytteestä tehtiin kolme rinnakkaista näytettä, eli yhteensä näytteitä tuli 12. Näyte 0 on kontrollinäyte (haihduttamaton sakkaroosiliuos). Muut näytteet tehtiin seuraavasti: näyte 1 mittauksesta 1, näyte 2 mittauksesta 2, näyte 3 mittauksesta 3.

Taulukko 5. Ensimmäisessä haihdutuksessa käytetyt parametrit.

Mittaus	Syöttönopeus (% maksimista)	Käytetty lämpötila (°C)	Telojen pyörimisnopeus (rpm)
1	2,5	120	200
2	3	145	150
3	6	120	300

Ensimmäisestä haihdutuksesta saadut tulokset on esitetty tämän työn kappaleessa 9, taulukossa 7.

Taulukko 6. Toisessa haihdutuksessa käytetyt parametrit.

Mittaus	Syöttönopeus (% maksimista)	Käytetty lämpötila (°C)	Telojen pyörimisnopeus (rpm)
1	4	120	200
2	4	160	200
3	4	170	200
4	10	120	200
5	5	120	200
6	20	120	350

Toisessa haihdutuksessa saadut tulokset on esitetty tämän työn kappaleessa 9, taulukoissa 8 ja 9.

## 9 Tulokset

Tämän työn tulokset koostuvat maidon haihduttamisesta saaduista tuloksista, koostetuista teknisistä tiedoista sekä kapasiteetin mittaamisesta saaduista tuloksista. Tuloksia on analysoitu kappaleessa 10. Taulukoissa 8-13 näytteet 0\_1 – 0\_3 vastaavat kontrollinäytettä, 1\_1 – 1\_3 näytettä 1 jne. Jokaisesta näytteestä on siis tehty kolme rinnakkaismittausta.

### 9.1 Maidon haihduttaminen

Taulukko 7. Toisen haihdutuksen punnitustulokset.

	<b>Alkunäyte</b>	<b>Näyte 1</b>	<b>Näyte 2</b>	<b>Näyte 3</b>	<b>Näyte 4</b>
Kuivan näytteen paino (g)	10,43	16,1	13,7	17,74	11,53
Vuon paino tyhjänä (g)	9,17	9,1	9,2	9,2	9,1
Näytteen paino (g)	90,83	90,9	90,8	90,8	90,9
Kuiva-aine- %	<b>11,48</b>	<b>17,7</b>	<b>15</b>	<b>19,5</b>	<b>12,7</b>

Taulukko 8. Toisen haihdutuksen tulokset refraktometrillä.

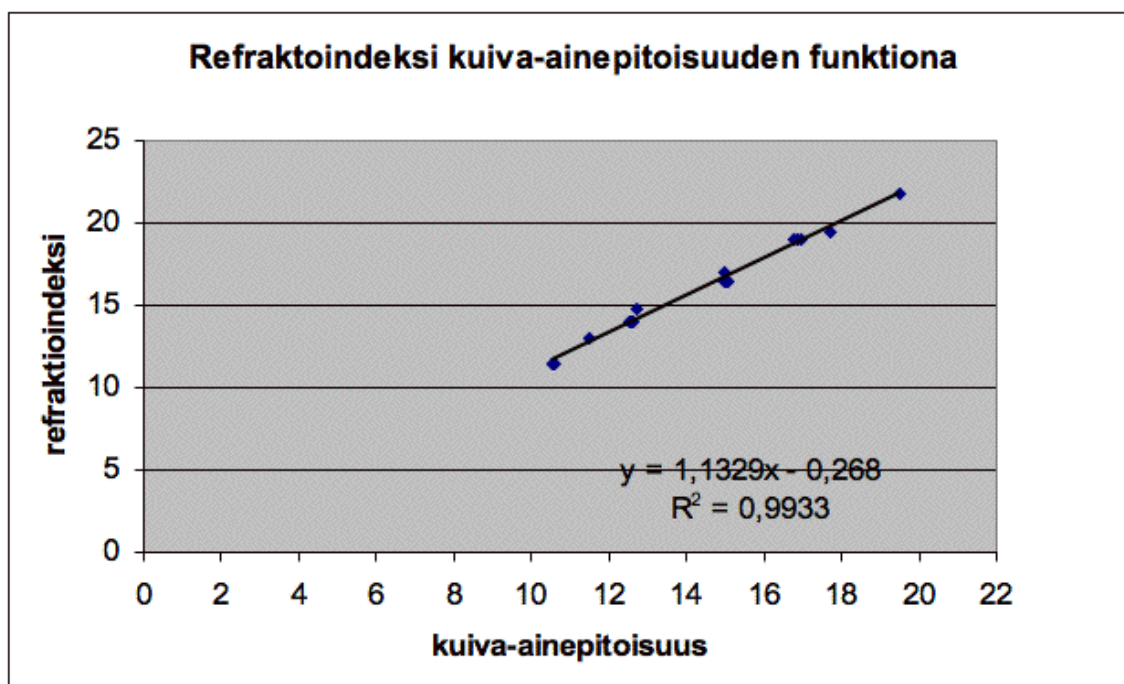
mittaus	0_1	0_2	1_1	1_2	2_1	2_2	3_1	3_2	4_1	4_2
refraktroindeksi	13	13	19,5	19,5	17	17	21,5	21,5	14,5	14,5
taitekerroin	1,352	1,352	1,363	1,363	1,359	1,359	1,366	1,366	1,355	1,355

Taulukko 9. Kolmannen haihdutuksen punnitustulokset.

	0_1	0_2	0_3	1_1	1_2	1_3	2_1	2_2	2_3	3_1	3_2	3_3
Näytemalja tyhjänä (g)	27,61	28,51	25,55	28,3	27,81	25,5	27,92	26,1	27,81	26,38	25,3	27,67
Näyte (g)	20,34	23,29	24,61	25,23	30,88	28,45	23,55	27,72	24,3	34,37	32,35	30,91
Kuivan näytteen paino (g)	29,76	30,97	28,16	32,54	33,01	30,32	31,45	30,28	31,46	30,71	29,35	31,57
Kuiva-aine- %	10,55	10,56	10,6	16,79	16,85	16,94	15	15,06	15,01	12,59	12,52	12,61
Keskiarvo kuiva-aine-%	ka= 10,57			ka= 16,86			ka= 15,02			ka= 12,57		

Taulukko 10. Kolmannen haihdutuksen tulokset refraktometrillä.

mittaus	0_1	0_2	0_3	1_1	1_2	1_3	2_1	2_2	2_3	3_1	3_2	3_3
refraktroindeksi	11,5	11,5	11,5	19	19	19	16,5	16,5	16,5	14	14	14
taitekerroin	1,35	1,35	1,35	1,362	1,362	1,362	1,358	1,358	1,358	1,354	1,354	1,354



Kuvaaja 2. Refraktioindeksi kuiva-ainepitoisuuden funktiona.

## 9.2 Kapasiteetin selvittäminen

Taulukko 11. Ensimmäisen haihdutuksen punnitustulokset.

	0_1	0_2	0_3	1_1	1_2	1_3	2_1	2_2	2_3	3_1	3_2	3_3
Näytemalja tyhjänä (g)	25,25	25,33	28,39	26,11	25,55	27,81	27,64	28,32	27,76	28,52	26,38	25,54
Näyte (g)	10,73	13,55	12	16,76	12,1	12,12	15,37	15,68	16,46	14,1	14,27	12,83
Kuivan näytteen paino (g)	26,3	26,63	29,55	28,21	27,06	29,33	32,63	33,39	33,19	30,85	28,73	27,68
Kuiva-aine- %	9,7	9,57	9,67	12,49	12,48	12,54	32,45	32,38	32,98	16,5	16,49	16,7
Keskiarvo kuiva-aine-%	ka= 9,65			ka= 12,5			ka= 32,6			ka= 16,56		

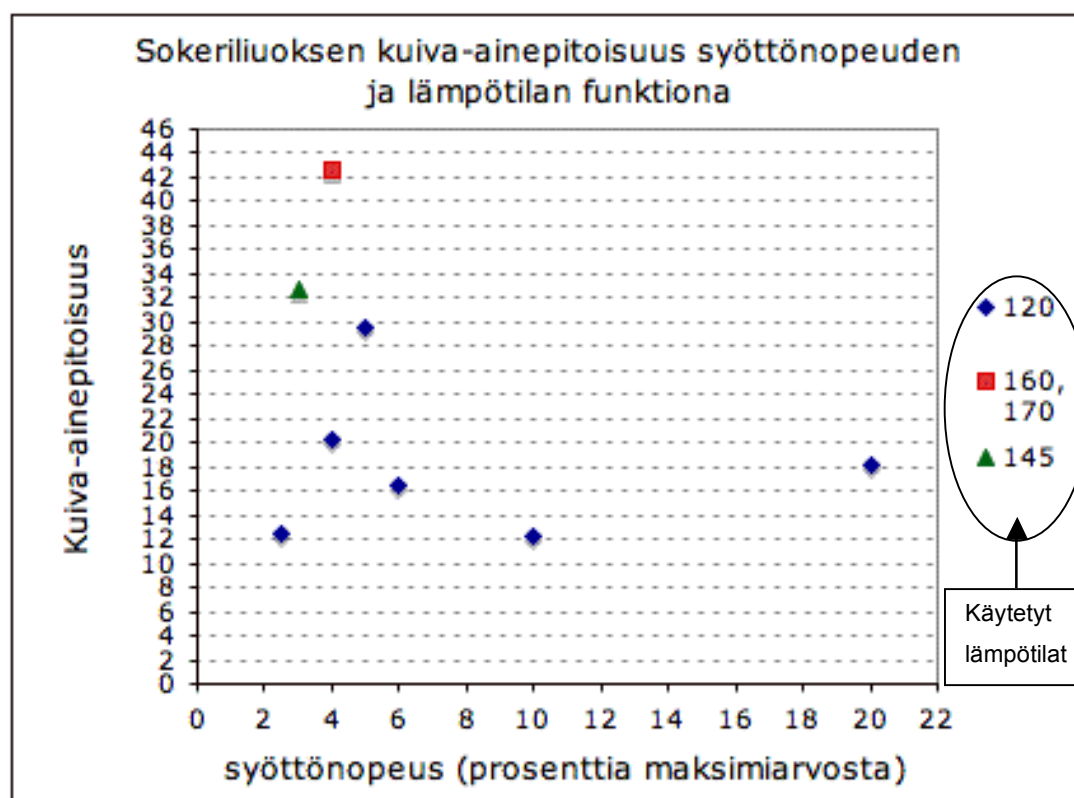
Taulukko 12. Toisen haihdutuksen punnitustulokset (näytteet 0–3).

	0_1	0_2	0_3	1_1	1_2	1_3	2_1	2_2	2_3	3_1	3_2	3_3
Näytemalja tyhjänä (g)	27,6	25,49	25,31	26,09	25,23	26,38	28,29	28,35	25,55	27,8	28,51	28,38
Näyte (g)	20,38	20,06	20,42	21,17	19,62	20,25	28,14	31,32	23,31	27,76	21,76	26,14
Kuivan näytteen paino (g)	29,62	27,48	27,34	30,26	29,25	30,58	40,23	41,82	35,73	39,81	37,6	39,43
Kuiva-aine- %	9,92	9,93	9,92	19,69	20,59	20,74	42,41	42,98	43,69	43,26	41,76	42,24
Keskiarvo kuiva-aine-%	ka= 9,923			ka= 20,34			ka= 43,03			ka= 42,42		

Taulukko 13. Toisen haihdutuksen punnitustulokset (näytteet 4-6).

	4_1	4_2	4_3	5_1	5_2	5_3	6_1	6_2	6_3
Näytemalja tyhjänä (g)	43,81	43,5	40,82	44,65	43,72	36,46		43,46	42,2
Näyte (g)	30,92	34,61	39,82	32,26	43,31	32,73		27	45,83
Kuivan näytteen paino (g)	47,59	47,68	45,77	54,2	56,47	46,13		48,37	50,5
Kuiva-aine- %	12,24	12,09	12,42	29,59	29,44	29,52		18,18	18,11
Keskiarvo kuiva-aine-%	ka= 12,25			ka= 29,52			ka= 18,15		

Kuvaajasta 3 voi lukea kuiva-ainepitoisuuden lämpötilan ja syöttönopeuden funktiona. Suurimmaksi osaksi mittauksia tehtiin 120°C lämpötilassa, mutta myös lämpötiloja 145°C, 160°C ja 170°C kokeiltiin.



Kuvaaja 3. Sokeriliuoksen kuiva-ainepitoisuus syöttönopeuden ja lämpötilan funktiona.

### 9.3 Tekniset tiedot

Paras mitattu kapasiteetti:	29 kg/h. Laitevalmistajan ilmoittama kapasiteettialue (8-25 kg/h)
Haihdutuspinta-ala	0,1 m <sup>2</sup>
Ulkomitat:	
• Korkeus	3,3 m
• Pituus	2,4 m
• Leveys	1,35 m
Alipaine:	22 mbar
Korkein sallittu käyttölämpötila	250 °C

## 10 Tulosten arviointi ja päätelmät

### Maidon haihdutus

Ensimmäisellä haihdutuskerralla kävi ilmi, että syöttönopeus oli aivan liian suuri haihdutusyksikön laitevalmistajan suosituskapasiteettiarvoon nähden. Tämä tarkoitti sitä, että maito oli suuren syöttönopeuden johdosta tulvinut haihdutusyksiköstä tislepuolelle. Laitteen toimintaan tutustumiseen liittyvät koeajot vedellä viittasivat virheellisesti, että haihdutuksessa voi käyttää suuria syöttönopeuksia. Laitevalmistajan ilmoittama kapasiteettiarvo massavirtana ilmoitettuna on 80 - 250 kg / h per haihdutuspinta-ala, ks.Liite 6. Tässä tapauksessa haihdutuspinta-alan ollessa 0,1 m<sup>2</sup>, tulee massavirran olla välillä 8 - 25 kg/h.

Seuraavilla haihdutuskerroilla syöttönopeudet asetettiin siten, että ne olisivat lähellä haihdutusyksikön laitevalmistajan ilmoittamia kapasiteetin suositusarvoja. Toisella maidon haihdutuskerralla selviä eroja oli nähtävissä

ensimmäiseen verrattuna. Tislesäiliöön menevä neste oli kirkasta vettä ja kun maito poistui haihdutusyksiköstä, oli se myös lämmennyt.

Maidon konsentroimisessa päästiin parhaimmillaan 11,48 %:n kuiva-ainepitoisuudesta 19,5 %:n kuiva-ainepitoisuuteen. Tämä onnistui käyttämällä lämpötilaa 80°C. Tuotteensyöttönopeus tuolloin oli 2 %, mikä vastaa tilavuusvirtaa  $696 \text{ l/h} \cdot 0,02 = 13,92 \text{ l/h}$  ja massavirtana maidon tapauksessa  $13,92 \text{ l/h} \cdot 1,03 \text{ kg/l} = 14,34 \text{ kg/h}$ . Maidon kuiva-ainepitoisuuden mittaamista kokeiltiin myös refraktometrin avulla. Jokaisen haihdutusmittauksen jälkeen konsentroitua maitonäytettä otettiin talteen, josta mitattiin kuiva-ainepitoisuus refraktometrillä. Nämä tulokset yhdessä kuivauksesta saatujen kuiva-ainepitoisuuksien tulosten kanssa tarvittiin kuvaajan 2 tekemiseksi. Saatu kuvaaja ei ole standardisuora, vaan maitonäytteiden kuivauksen ja refraktometriltä saatujen tulosten perusteella tehty suora. Kuvaajan 2 korrelaatiokerroin ( $R^2$ ) on 0,993. Vaikka refraktometriltä saadut tulokset ovatkin lineaarisia lämpökuivauksesta saatujen kuiva-ainepitoisuuksien kanssa, on näiden kahden mittaustuloksissa eroavaisuuksia. Esimerkiksi, kun refraktometrillä mitattu kuiva-ainepitoisuus (taitekerroin) on 22,09%, on lämpökuivauksesta saatu vastaava kuiva-ainepitoisuus 20%. Näin ollen näiden kahden menetelmän saadut tulokset eivät ole suoraan vertailukelpoisia keskenään. Jos refraktometrillä saadut kuiva-ainepitoisuudet halutaan muuttaa maitonäytteiden kuivauksesta saatuihin kuiva-ainepitoisuuksiksi, täytyy käyttää kuvaajan 2 kaavaa.

Maidon haihduttamisessa ei päästy kovinkaan hyvään tulokseen. Tämä tarkoittaa sitä, että lämpöherkkien nesteiden haihduttamisen mahdollisuuksista Turun ammattikorkeakoulun ohutfilmihaihduttimella tarvitaan vielä lisätutkimuksia. Maidon haihdutuslämpötiloina käytettiin kirjallisuusarvoja. Parempiin tuloksiin olisi mahdollisesti päästy käyttämällä suurempia lämpötiloja.

### **Kapasiteetin mittaaminen sakkaroosiliuksella**

Kapasiteetin mittaamiseen tehtiin 10 %:n sakkaroosiliuos, jonka avulla tutkittiin laitteen kapasiteettia. Kapasiteetin mittaamisessa päästiin parhaimmillaan yli 43

kuiva-ainepitoisuuteen. Erittäin huomionarvoinen seikka oli, että sama 43 %:n kuiva-ainepitoisuus saavutettiin sekä 160°C että 170°C lämpötiloissa, molemmissa tapauksissa samaa syöttönopeutta käyttäen. Tässä oli erona kuitenkin se, että 170°C lämpötilassa haihdutettu sokeriliuos muuttui konsentroiduttuaan ruskeaksi. Tuotteensyöttönopeus tuolloin oli 4 %, mikä vastaa tilavuusvirtaa  $696 \text{ l/h} \cdot 0,04 = 27,84 \text{ l/h}$  ja massavirtana 10 % sakkaroosiliuoksen tapauksessa  $27,84 \text{ l/h} \cdot 1,1 \text{ kg/l} = \underline{28,94 \text{ kg/h}}$ . Näin ollen paras mitattu kapasiteettiarvo laitteistolle on 29 kg/h, mikä on jonkin verran yli laitevalmistajan ilmoittamasta kapasiteettialueesta. Kuvaajasta 3 voi nähdä, että paras syöttönopeusalue on noin 3-6 % sakkaroosiliuokselle lämpötilassa 120°C. Mitattu kuiva-ainepitoisuus olisi voinut olla vielä parempi, koska en käyttänyt lämpötiloilla 160°C, 170°C ja 145°C haihdutettaessani samaa syöttönopeutta kuin mikä oli paras havaittu syöttönopeus 120°C haihdutuksessa. Paras tulos 120°C mittauksessa tuli havaittua samalla haihdutuskerralla kuin haihdutukset 160°C ja 170°C:ssa.

### **Ohutfilmi haihduttimen käyttäminen ja laiteratkaisut**

Turun AMK:n ohutfilmi haihduttimen käytön aikana ilmeni monenlaisia asioita laitteistoon liittyvistä ratkaisuista. Maidon haihduttamisen yhteydessä havaittiin, että tuotteensyöttöpumppu on ylimitoitettu ohutfilmi haihduttimen kapasiteettiin nähden. Hyväksi havaittu tuotesyöttöpumpun syöttönopeus alue on 1- 6 % täydestä syöttönopeudesta. Näin ollen tuotteen syöttöön riittäisi pumppu, jonka maksimisyöttönopeus olisi noin 30-50 l/h. Tällöin myös yhden prosentin ero syöttönopeudessa olisi 0,3-0,5 l/h, kun taas nykyisellä syöttöpumpulla vastaavasti yhden prosentin ero syöttönopeudessa on 6,9 l/h. Lisäksi nykyinen tuotteensyöttöpumpun ja haihdutuskolonnin välinen korkeusero on liian suuri hyväksi havaittuun syöttönopeuteen nähden. Nesteen syöttämisen aloituksen yhteydessä tuotteen syöttönopeutta piti nostaa joka kerta noin 10 %:iin, jotta pumppu jaksaisi pumpata nesteen haihdutuskolonneihin saakka. Tämän jälkeen tuotteen syöttönopeutta voitiin laskea.

Kaikkien koeajojen päätteeksi toinen alipainepumppu hajosi. Tähän oli syynä ilmeisesti se, että pumpun sisälle pääsi koeajojen aikana vettä ja myös maitoa



tulvimisen seurauksena. Lisäksi alipainepumppujen kaasuntasausventtiili ("gas ballast-venttiili") ei ollut koskaan auki tietämättömyyden takia. Kaasuntasausventtiilin käyttö olisi vähentänyt kosteuden joutumista pumpun öljyn sekaan. Tästä johtuen jokaisen koeajon alussa, kun alipainepumput käynnistettiin, syöksyi niiden sisältä ulos vettä ja öljyä. Lopulta toinen alipainepumppu ei enää sisältänyt tarpeeksi voitelevaa öljyä, jolloin pumppu lakkasi toimimasta. Alipainepumput oli säädetty niin, että ne tuottivat parhaimmillaan 22 mbar:n alipaineen. Veden kiehumispiste ko. paineessa on noin 19°C. Alipainepumppu vaatii korjaus/huototoimenpiteitä ennen kuin laitteistoa voi käyttää jälleen. Samanlaisten vahinkojen välttämiseksi on keksittävä jokin ratkaisu, joka erottelee nesteen pois imettävästä ilmasta ennen kuin neste pääsee alipainepumppujen sisälle.

Lauhduttimen jäähdytys on toteutettu vesijohtoveden kierrolla. Vesijohtoverkosta tulee lauhduttimeen uutta, viileää vettä ja samalla vettä poistuu lauhduttimesta viemäriin. Veden lämpötila on ollut matalimmillaan 7°C. Lauhduttimen jäähdytys on tarpeellinen, sillä haihtuvan vesihöyryn kastepiste on matalampi kuin ympäröivän huoneen lämpötila. Tehokkaampi ratkaisu olisi esimerkiksi suljettu vesi-glykoli (jäähdytinneste)-kierto, jossa lämmönsiirrin (jäähdytin) olisi upotettu esimerkiksi jäähauteeseen ja jonka jälkeen erillinen pumppu siirtäisi kylmää jäähdytinnestettä lauhduttimeen. Lauhduttimesta poistuisi lämmennyt jäähdytinnestettä uudelleen suljettuun jäähdytyskiertoon.

Laitteistossa säiliöiden pesupallot eivät toimi tarkoitetulla tavalla. Siihen on mahdollisesti syynä se, että pesupumppujen kautta virtaavan pesuliuoksen paine ei riitä pyörittämään pesupalloja. Kiertopesu (CIP) on pessyt laitteiston kuitenkin puhtaaksi huolimatta siitä, että pesupallot eivät pyöri.

Tärkeä seikka on, että jos laitteistolla on tarkoitus pystyä konsentroimaan nesteitä hyvin korkeisiin kuiva-ainepitoisuuksiin asti, on se kuitenkin vaikeaa haihdutuskolonnin pohjasta lähtevän hyvin jyrkän ja pitkän poistoputken takia, ks. kuva 16.



Kuva 16. Haihdutuskolonnin pohjan putki.

Tämän taktia laitteisto ei sovellu kovin tehokkaaseen konsentroimiseen, koska rajoitteeksi muodostuisi konsentroituneiden nesteiden suuri viskositeetti. Näin ollen myös laitteiston peseminen olisi erittäin haasteellista koska konsentroituneet nesteet jäisivät todennäköisesti mutkaan. Erittäin tehokas sakkaroosiliuoksen konsentroiminen olisi myös mahdotonta siksi, että sakkaroosiliuos alkaa kiteytyä jo 67 %:n kuiva-ainepitoisuudessa (kylläinen sakkaroosiliuos). Tämä aiheuttaisi mahdollisesti vakavaa tuhoa haihdutuskolonnissa, koska lämmönvahtimen ja rullapyyhkijöiden välillä on vain 1 mm tilaa nestevirrälle. Jos sakkaroosiliuos kiteytyisi haihdutuskolonnissa, voisi se näin ollen hajottaa rullatelat ja myös niitä pyörittävän moottorin vaihteistoiineen.

Öljylämmityskierto on toiminut useimmissa tapauksissa moitteettomasti. Lisäksi sitä on ollut helppo käyttää. Viimeisen haihdutuskerran aikana pieneksi rajoitteeksi muodostui se, että putkilämmittimen teho ei riittänyt pitämään lämmitettävää öljyä asetustilassa. Todellinen lämpötila saattoi vaihdella alaspäin asetustilasta riippuen 10-20°C.

### **Ohutfilmihaihduttimen soveltaminen**

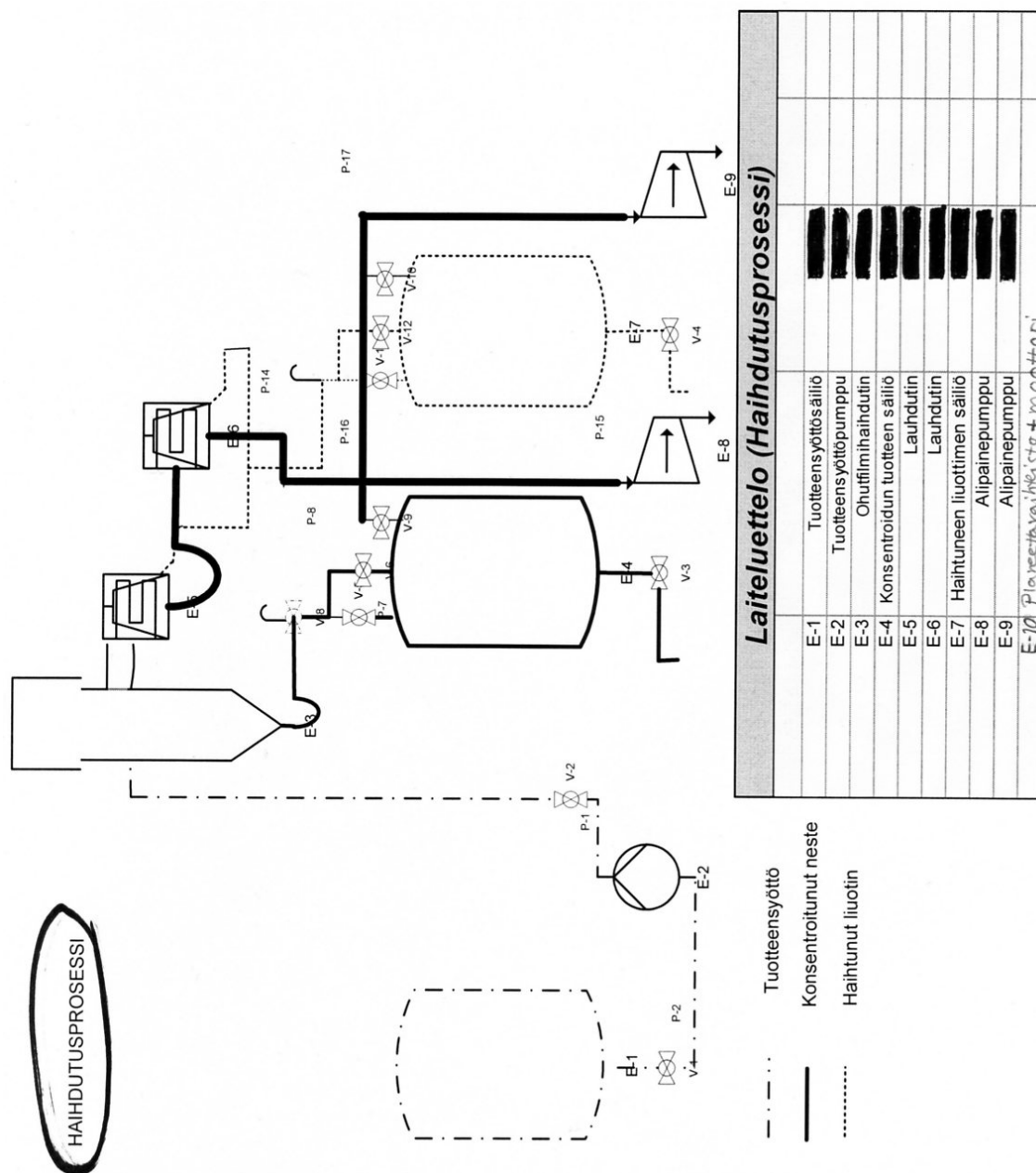
Kaiken kaikkiaan Turun AMK:n ohutfilmihaihdutin täyttää haihduttimelle tärkeät kriteerit. Laitteistolla voi osoitettavasti konsentroida nesteitä. Lisäksi laitteisto toimii kokonaisuudessaan kuitenkin luotettavasti. Vuotoja ei ole havaittu ja öljylämmityskierto toimii hyvin pienin rajoittein ja sitä on helppo käyttää. Lauhduttimessa haihtunut vesihöyry on tiivistynyt hyvin virtaavaksi puhtaaksi nesteeksi (tisleeksi). Tislevedestä otettiin myös kerran näyte lämpökuivausta varten. Punnituksessa havaittiin, että tislevesi ei sisältänyt kuiva-ainetta.

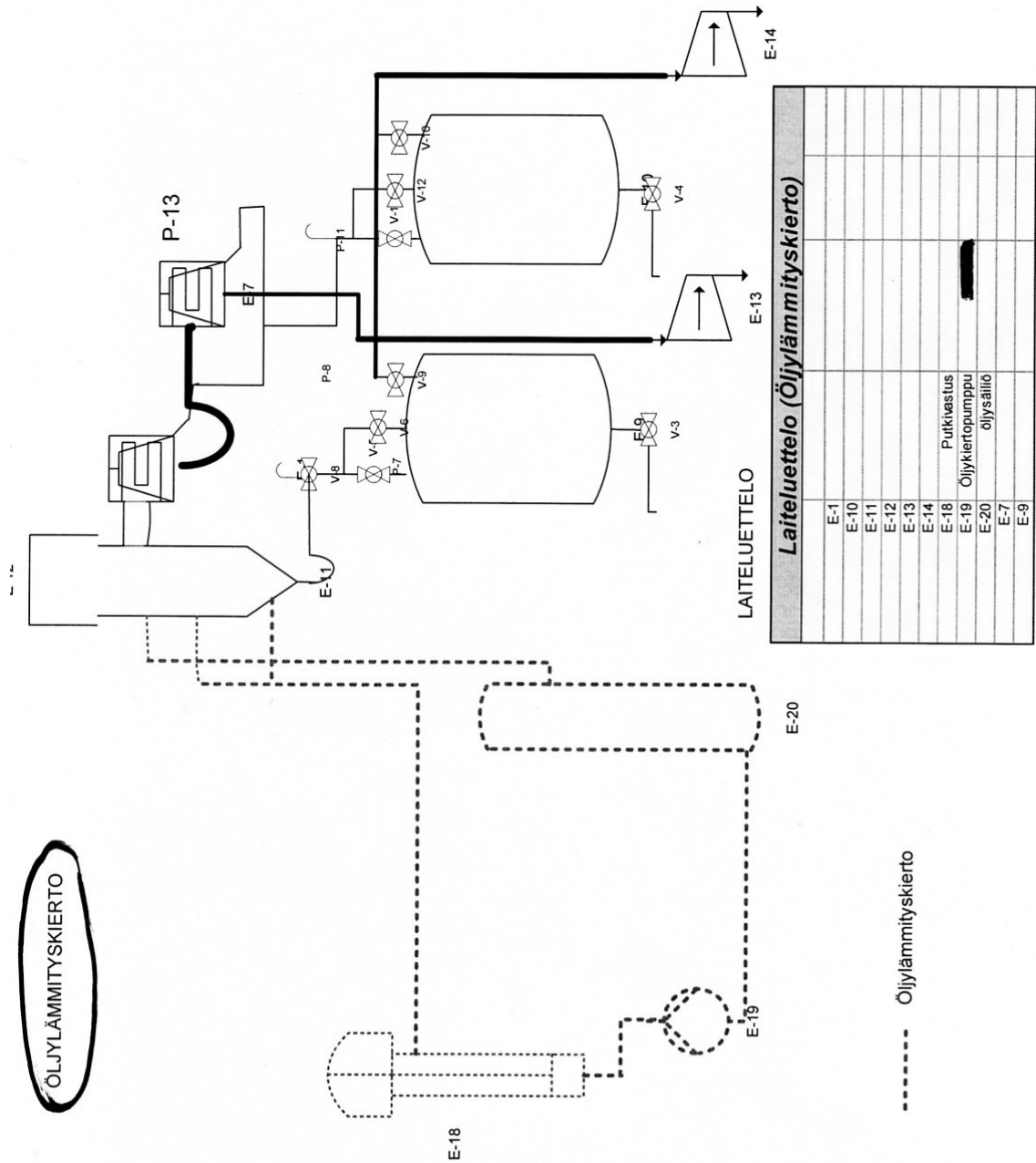
Turun ammattikorkeakoulun Lemminkäisenkadun ohutfilmihaihdutin soveltuu hyvin opetustyöhön, koska se toimii luotettavasti, kunhan alipainepumppu korjataan. Turun ammattikorkeakoulun ohutfilmihaihdutin tarjoaa kokemusta oppilaille ja myös laajempaa ymmärrystä haihdutusprosessista. Myös palvelun tarjoaminen asiakasyrityksille on tulosten perusteella mahdollista. Kaikkien haihdutettavien nesteiden osalta täytyy miettiä niiden soveltuvuutta ohutfilmihaihdutukselle. Haihdutuksen tehokkuutta ja lämpöherkkyyttä on jokaisen nesteen osalta myös kokeiltava erikseen. Tässä työssä ei kokeiltu haihduttimen soveltuvuutta alipainetislaamiseen, mutta sen toteuttamista voi harkita. Ohutfilmihaihduttimeen kuuluu vielä lisäksi kaksi muuta lauhdutinta, joista toinen on jo valmiiksi asennettu. Ongelmaksi voi kuitenkin koitua se, että alipainepumppuja ei ole tarkoitettu helposti syttyville liuottimille, jotka ovat kuitenkin melko yleisiä bio- ja elintarviketeollisuudessa.

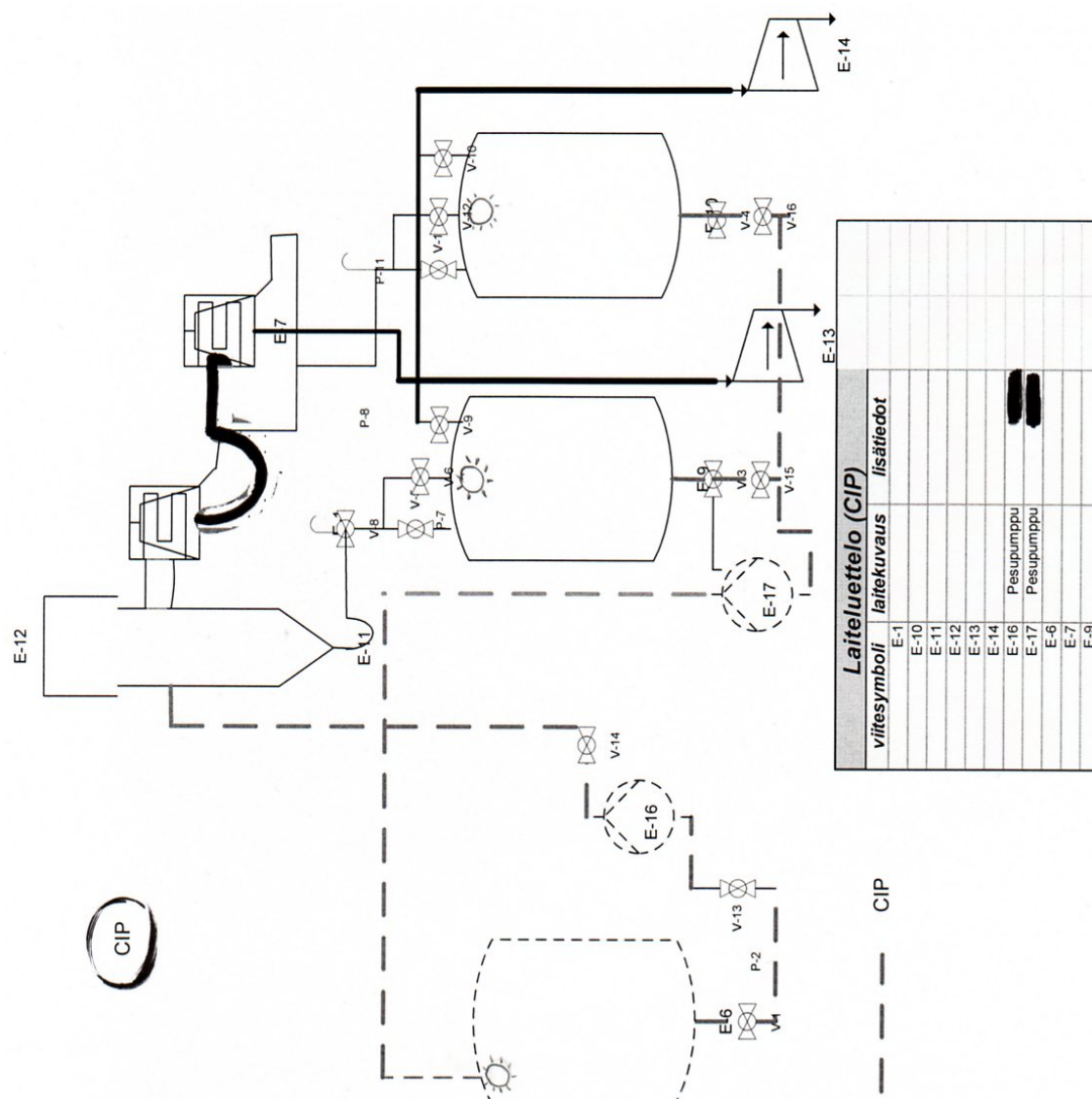
## **LÄHTEET**

1. [http://www.atmos.uiuc.edu/earths\\_atmosphere/water\\_cycle.html](http://www.atmos.uiuc.edu/earths_atmosphere/water_cycle.html), viitattu 3.3.2010, kuva muokattu 3.3.2010

2. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/Hbase/Kinetic/vappre.html>, viitattu 3.3.2010, kuva muokattu 3.3.2010
3. Ramm-Schmidt Leif, Holmberg H. Ene-59.4130, Kuivatus- ja haihdutusprosessit teollisuudessa. 2009, www- osoite: [https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/ene-59.4130/materiaali/Ene-59.4130\\_luentomoniste.4130\\_moniste\\_2009\\_b.pdf](https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/ene-59.4130/materiaali/Ene-59.4130_luentomoniste.4130_moniste_2009_b.pdf), viitattu 26.12.2009, kuva muokattu 26.12.2009
4. Heldman, R. Dennis & Hartel, R.W. Principles Of Food Processing. Chapman&Hall New York 1997
5. Pihkala, J. 1998. Prosessiteknikan yksikköprosessit. Muuttumaton 2. Painos. Hakapaino Oy Helsinki 2001, kuvat muokattu 1.3.2010
6. Pohjoismaiden ministerineuvoston julkaisu, lokakuu 2003. Paras käyttökelpoinen tekniikka (BAT) meijereissä. Pääraportin lyhennelmä. (online, viitattu 6.8.2010). Saatavilla www-muodossa: <http://www.norden.org/fi/julkaisut/julkaisut/2003-722>
7. [http://www.niroinc.com/evaporators\\_crystallizers/falling\\_film\\_evaporators.asp](http://www.niroinc.com/evaporators_crystallizers/falling_film_evaporators.asp), kuva muokattu 21.12.2009
8. [http://www.niroinc.com/evaporators\\_crystallizers/plate\\_evaporators.asp](http://www.niroinc.com/evaporators_crystallizers/plate_evaporators.asp), kuva muokattu 17.10.2009
9. William B. Glover: Evaporation of Difficult Products, Chemical Processing, febr.1997, viitattu 17.10.2009, chemproc.pdf saatavilla www-muodossa: [www.lcicorp.com/evap/docs/chemproc.pdf](http://www.lcicorp.com/evap/docs/chemproc.pdf), kuvat muokattu 21.12.2009
10. UIC Applications\_en.pdf (online, viitattu 17.10.2009). Saatavilla www-muodossa: [www.uic-gmbh.de](http://www.uic-gmbh.de), kuva muokattu 17.10.2009
11. Process Separation Technologies pdf. Saatavilla www-muodossa: [www.lcicorp.com/evap/docs/process\\_separations.pdf](http://www.lcicorp.com/evap/docs/process_separations.pdf)
12. Laaksonen T. Oppimateriaali: Elintarviketekniikka 3. 2009, kuva muokattu 1.3.2009
13. Varnam Alan H, Sutherland Jane P. Milk and Milk Products. 1 painos 1994. Chapman&Hall Lontoo 1996
14. N. P. Melachouris and S. L. Tuckey, Denaturation of Whey Proteins in Milk Heated at High Temperatures for Short Times, Journal of Dairy Science. 1966 49: 1154-1156, saatavilla www-muodossa: [jds.fass.org/cgi/reprint/49/9/1154.pdf](http://jds.fass.org/cgi/reprint/49/9/1154.pdf), taulukko muokattu 17.10.2009
15. saatavilla www-muodossa: <http://wifflelevertofull.files.wordpress.com/2009/09/carnation-milk.jpg>, kuva muokattu 21.12.2009
16. <http://www.prominent.fi/desktopdefault.aspx>, viitattu 31.10.2009, kuva muokattu 31.10.2009
17. Trivac d16 bx- tuote-pdf. Saatavilla www-muodossa: [www.highervacuum.com/product/p9/D16B-Ex.pdf](http://www.highervacuum.com/product/p9/D16B-Ex.pdf), viitattu 10.9.2009, kuvat muokattu 15.10.2009
18. <http://www.uic-gmbh.de>, viitattu 9.7.2010, kuvat muokattu 9.7.2009
19. planetroll\_plaromaster\_MR\_english.pdf, saatavilla www-muodossa: [http://www.planetroll.de/de/ueber\\_planetroll/](http://www.planetroll.de/de/ueber_planetroll/), viitattu 27.2.2009, kuvat muokattu 20.7.2010
20. Iwaki MD- series tuote-esite- pdf: saatavilla www-muodossa: <http://www.iwaki-pumps.jp>, viitattu 20.7.2010, kuvat muokattu 20.7.2010









## Tekniset tiedot

Tyyppi S3Ba / S3Ca	50 Hz-versio			60 Hz-versio			Imukorkeus mWS	Iltinkoko G-DN
	bar	l/h	Iskua/min.	psi	l/h/gph	Iskua/min.		
120145 PVT	10	145	72	145	174/46	86	5	1½-25
120145 SST	12	145	72	174	174/46	86	5	1½-25
120190 PVT	10	190	103	145	228/60,2	124	5	1½-25
120190 SST	12	190	103	174	228/60,2	124	5	1½-25
120270 PVT	10	270	144	145	324/85,6	173	5	1½-25
120270 SST	12	270	144	174	324/85,6	173	5	1½-25
120330 PVT *	10	330	180	145	-	-	5	1½-25
120330 SST *	12	330	180	174	-	-	5	1½-25
070410PVT	7	410	72	100	492/130	86	4	2-32
070410 SST	7	140	72	100	492/130	86	4	2-32
070580 PVT	7	580	103	100	696/183,9	124	4	2-32
070580 SST	7	580	103	100	696/183,9	124	4	2-32
040830 PVT	4	830	144	58	1000/264	173	3	2-32
040830 SST	4	830	144	58	1000/264	173	3	2-32
041030 PVT *	4	1030	180	58	-	-	3	2-32
041030 SST *	4	1030	180	58	-	-	3	2-32

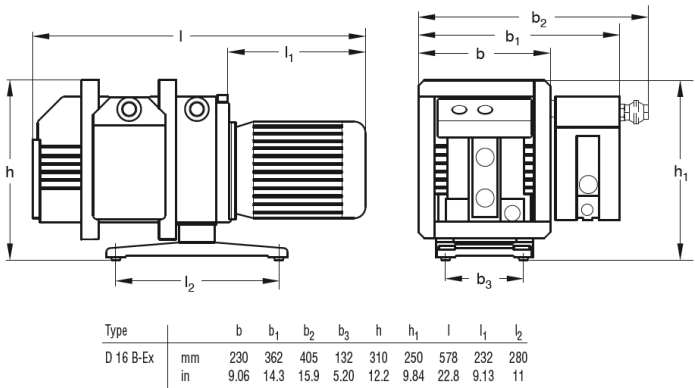
\* Saatavana vain S3Ba-typille.

S3Ca-pumppuja koskevat tiedot kohdassa "60 Hz-versio".



Technical Data		TRIVAC D 16 B-Ex (pressure burst resistant)	
		50 Hz	60 Hz
Nominal pumping speed <sup>1)</sup>	m <sup>3</sup> x h <sup>-1</sup> (cfm)	18.9 (11.1)	22.7 (13.4)
Pumping speed <sup>1)</sup>	m <sup>3</sup> x h <sup>-1</sup> (cfm)	16.5 (9.7)	19.8 (11.7)
Ultimate partial pressure without gas ballast <sup>1)</sup>	mbar (Torr)	10 <sup>-4</sup> (0.75 x 10 <sup>-4</sup> )	
Ultimate total pressure without gas ballast <sup>1)</sup>	mbar (Torr)	< 2 x 10 <sup>-3</sup> (< 1.5 x 10 <sup>-3</sup> )	
Ultimate total pressure with gas ballast <sup>1)</sup>	mbar (Torr)	< 5 x 10 <sup>-3</sup> (< 3.8 x 10 <sup>-3</sup> )	
Water vapor tolerance <sup>1)</sup>	mbar (Torr)	25 (18.75)	
Water vapor capacity	gm/h	305	
Oil filling, min./max.	l (qt)	0.45 / 1.0 (0.5 / 1.1)(N 62)	
Noise level to DIN 45 635, without/with gas ballast	dB(A)	52 / 54	
Admissible ambient temperature	°C (°F)	12 - 40 (54 - 104)	
Motor rating	W (HP)	750 (1)	
Nominal speed	rpm	1500	1800
Type of protection	IP	54	
Weight			
without flame arresters	kg (lbs)	45 (99.2)	
with flame arresters	kg (lbs)	50 (110.3)	
Connections			
without flame arresters			
intake / pressure side	Outside thread	G 3/4" / G 1"	
with flame arresters			
intake / pressure side	Inside thread	G 3/4" / G 1"	

Ulkomitat:



<b>U·I·C</b>		<b>TURKU AMK BIO 1889</b>		
<b>UIC GmbH</b>				
D-63755 Alzenau-Hörstein				
Druckraum/press. room		Innenraum Inside room	Heizraum I heating room I	Heizraum II heating room II
Inhalt/Volume	L	10	0,7	0,2
max. zul. Druck/max. allow. pressure PS	bar	-1/+0,2	-1/+6	-1/+6
zul. min/max Temp./allow. min/max temp. TS	°C	0/+250	0/+250	0/+250
Leergewicht/empty weight	kg		Ident.-Nr./ident. no.	
Hersteller/manufacturer	Winkel Schweißtechnik GmbH, 63579 Freigericht			
Fabr.-Nr./fabr.-no.	WS-2643	Baujahr/year of manuf.		2004
Prüfgrundlage/Specif. for acceptance				
Überwachung/inspection	UIC GmbH			
Auftrag-Nr./project-no.	F404-3947	3x4 Klammerschraube/clamp screw M10		

<b>Series RF for Pilot and Production Plants</b>	
Construction material:	depending on the feed product as well as operating conditions (mostly stainless steel 1.4571 equivalent to 316 Ti or Hastelloy)
Wiper system	depending on the distillation task (mostly roller wipers)
Heating medium:	thermal oil, steam, hot water (depending on the distillation task and availability)
Sealing of the wiper basket shaft:	mechanical sealing, single or double acting
Execution of the heating jacket:	double jacket or thermal sheet (steam heating)
Design standard of the pressure-loaded components:	"AD-Merkblätter", ASME (other standards upon request)
Typical capacity (feed rate):	80 - 250 kg / h per sqm evaporator surface area, depending on the feed product and the distillation target.

**Standard Sizes:**

Type	Evaporation Surface Area (m <sup>2</sup> )
RF 6	0,06
RF 10	0,1
RF 20	0,2
RF 50	0,5
RF 100	1
RF 200	2
RF 400	4
RF 800	8
RF 1200	12
RF 1600	16
RF 2000	20
RF 3000	30
RF 4500	45

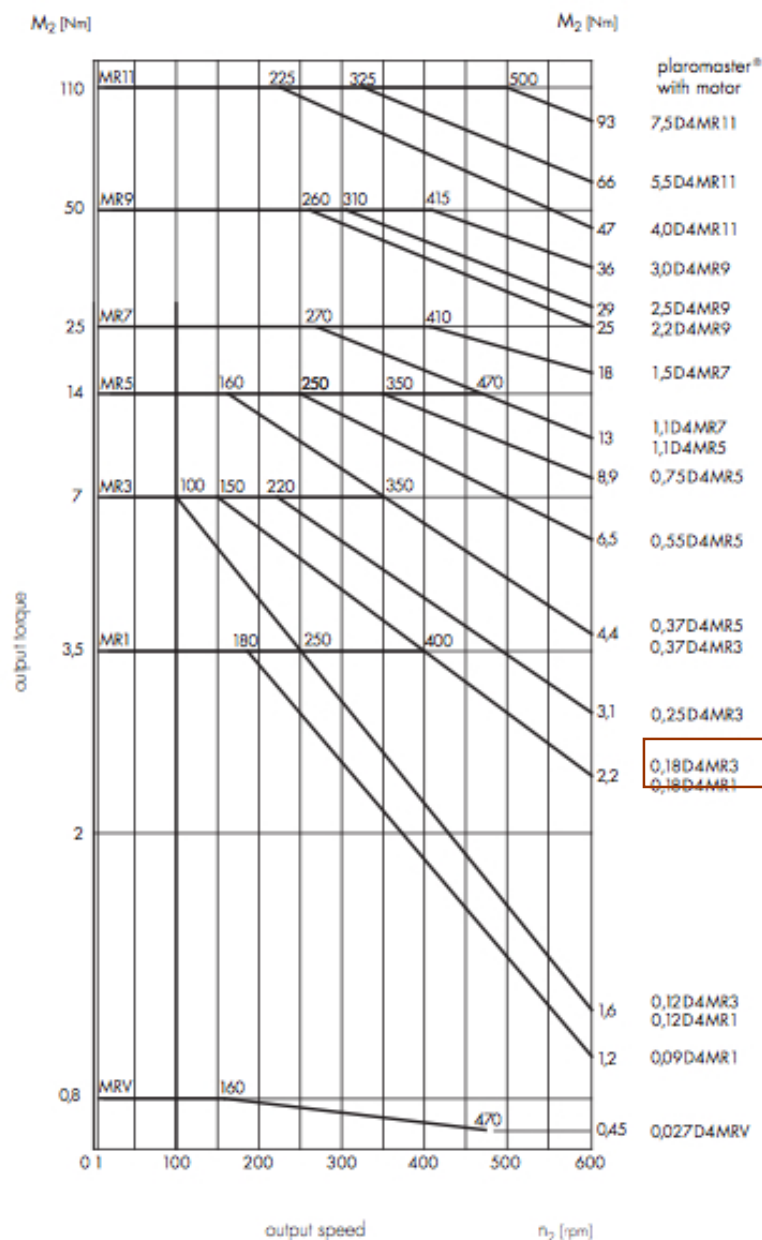
<b>U·I·C</b> <b>UIC GmbH</b> D-63755 Alzenau-Hörstein			
Druckraum/press. room		<b>Innenraum</b> inside room	<b>Kühlraum</b> cooling room
Inhalt/Volume	L	7,8	1,7
max. zul. Druck/max. allow. pressure PS	bar	-1/+0,5	0
zul. min/max Temp./allow. min/max temp. TS	°C	-10/+150	-200/+50
Leergewicht/empty weight	kg	16	Ident.-Nr./ident. no.
Hersteller/manufacturer	Winkel Schweißst. 63579 Freigericht		
Fabr.-Nr./fabr.-no.	WS-2241	Baujahr/year of manuf.	2002
Prüfgrundlage/Specif. for acceptance			
Überwachung/inspection	UIC GmbH		
Auftrag-Nr./project-no.	F405-4214	2x4 clamping screw M10x24	





**speed and torque characteristic line  $n_1=1,400$  rpm**

diagram 3 ◀



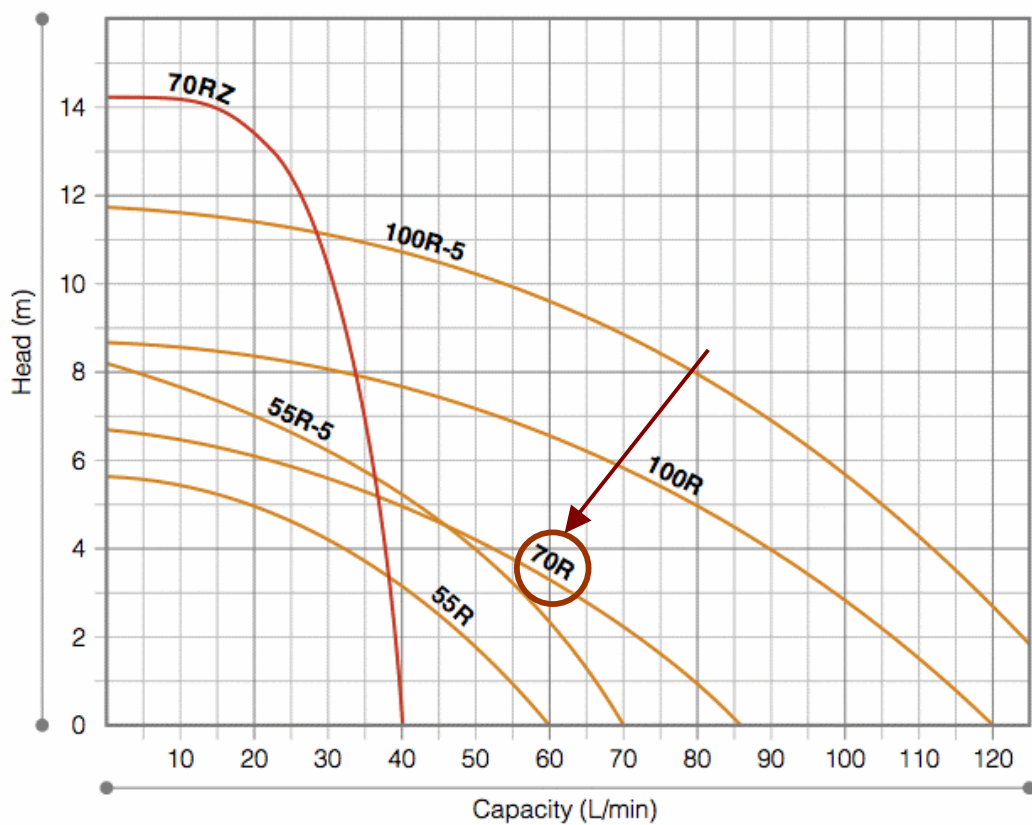


Model	Hose connection		Threaded connection		Max. Capacity	Max.Head	S.G.	Output	Input	Power source		Mass
	R · RZ		R-M · RZ-M							Single phase	Three phase	
	Inlet (mm)	Outlet (mm)	Inlet/Outlet	Union <sup>(Note1)</sup> (mm)								
MD-55R(M)	26	26	G1	20	60	5.6	1.2	90	130	220V - 240V	—	5.4
MD-55R-5(M)					70	8.2		90	170			
MD-70R(M)	26	26	G1	20	86	6.7	1.0	150	235		400V/440V	6.0
MD-70RZ(M)	20	20	G3/4	16	40	14.3		180	275			
MD-100R(M)	26	26	G1	20	120	8.6	1.2	260	245			
MD-100R-5(M)					135	11.7	1.1	260	365			

• Temperature range: 0 - 80°C (Contact us for applications below zero.) • Limit of viscosity: 30 mPa·s (at 1 S.G.) • Ambient temperature: 0 - 40°C  
 • Motor type: Capacitor-run induction motor

Nostokorkeuden vaikutus kapasiteettiin

## Performance curves (50Hz)





Ohutfilmihaihduttimen käyttökustannukset koostuvat yksittäisten laitteiden tehoista johtuvista sähkökuluista sekä jätevesimaksusta. Esimerkissä olen käyttänyt koeajokerroilla käyttämiä aikoja. Kokonaisaika on noin 5 tuntia.

Öljypumppu:  $1,12 \text{ kW} * 5 \text{ h}$

Pesupumput:  $0,3 \text{ kW} * 2 \text{ h}$

Syöttöpumppu:  $0,17 \text{ kW} * 4 \text{ h}$

Alipainepumput:  $1,2 \text{ kW} * 4 \text{ h}$

Öljylämmitysvastus:  $6,4 \text{ kW} * 5 \text{ h}$

Planeettavaihteisto:  $0,18 \text{ kW} * 4 \text{ h}$

Yhteensä:  $44,4 \text{ kWh}$

Sähkön hinta on noin 10 senttiä/kWh, joten  $44,4 \text{ kWh} * 0,1 \text{ e} = 4,4 \text{ e}$

Vettä kuluu koeajon aikana 1440 litraa ( $1,44 \text{ m}^3$ ). Jäteveden hinta on noin 3 e/ $\text{m}^3$ , joten  $1,44 \text{ m}^3 * 3 \text{ e}/\text{m}^3 = 4,32 \text{ e}$ .

Raakaveden hinta on kolmasosa jäteveden hinnasta, joten raakaveden hinta on  $1 \text{ e}/\text{m}^3 * 1,44 \text{ m}^3 = 1,44 \text{ e}$ .

Kokonaiskustannus/koeajokerta on siis  $4,4 \text{ e} + 4,32 \text{ e} + 1,44 \text{ e} = 10,16 \text{ e}$

Yhtä tuntia kohti käyttökustannus on siis noin  $10,16 \text{ e}/5 = 2,03 \text{ e}$